



**Nídia Remígio Heleno**

Licenciada em Engenharia Química e Bioquímica

## **Projeto de Instalação de um Sistema de Produção de Fibra Tinta numa Linha Industrial de Fibra Acrílica**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Química e Bioquímica

Orientador: Engenheiro André Pereira,  
Chefe de Departamento de Engenharia,  
Fisipe, S.A.

Coorientador: Professor Mário Eusébio  
Professor Auxiliar,  
Faculdade de Ciências e Tecnologia da  
Universidade Nova de Lisboa

Júri: Presidente: Professora Doutora Ana Maria Martelo Ramos,  
Professora Associada, Faculdade de Ciências  
e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Arguente: Engenheiro Ricardo Ferreira Mata Luís,  
Chefe de Área de Produção, Departamento de Operações,  
Fisipe – Fibras Sintéticas de Portugal

Vogal: Engenheiro André Dias Farinha Pereira,  
Responsável de Departamento, Departamento de Engenharia,  
Fisipe – Fibras Sintéticas de Portugal



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Setembro 2018**



## Nidia Remigio Heleno

Licenciada em Engenharia Química e Bioquímica

# Projeto de Instalação de um Sistema de Produção de Fibra Tinta numa Linha Industrial de Fibra Acrílica

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Química e Bioquímica

Orientador: Engenheiro André Pereira,  
Chefe de Departamento de Engenharia,  
Fisipe, S.A.

Coorientador: Professor Mário Eusébio  
Professor Auxiliar,  
Faculdade de Ciências e Tecnologia da  
Universidade Nova de Lisboa

Júri: Presidente: Professora Doutora Ana Maria Martelo Ramos,  
Professora Associada, Faculdade de Ciências  
e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Arguente: Engenheiro Ricardo Ferreira Mata Luís,  
Chefe de Área de Produção, Departamento de Operações,  
Fisipe – Fibras Sintéticas de Portugal

Vogal: Engenheiro André Dias Farinha Pereira,  
Responsável de Departamento, Departamento de Engenharia,  
Fisipe – Fibras Sintéticas de Portugal

Setembro 2018



## PROJETO DE INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA DE PRODUÇÃO DE FIBRA TINTA NUMA LINHA INDUSTRIAL DE FIBRA ACRÍLICA

Copyright © Nídia Remígio Heleno e Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



# AGRADECIMENTOS

Com o terminar desta etapa, deixo o meu reconhecimento e agradecimento a todas as pessoas que me acompanharam e o tornaram possível.

Agradeço a toda a minha família, em especial aos meus pais que sempre me apoiaram, incentivaram e permitiram o alcançar de todos os meus sonhos, e, ao meu irmão, por ser sempre o melhor exemplo a seguir e acreditar em mim incondicionalmente. À minha avó e ao meu avô, que apesar de não lhe ter sido possível assistir ao final desta etapa, acredito que estará sempre orgulhoso dos seus netos.

À Fisipe e, particularmente, ao Engenheiro Pedro Rodrigues pela possibilidade da realização deste estágio e ao Engenheiro André Pereira, pela orientação e tempo dedicado a este trabalho.

A todo o departamento de engenharia da Fisipe e, não poderia deixar de enumerar, Bruno Saraiva, Rui Ferreira, José Bragado, Pedro Costa, Anabela Coelho, Fernando Horta e Telma Colaço, a toda a equipa de desenhadores e, aos Engenheiros Fábio Batalha e João Maia, um muito obrigado por todos os ensinamentos e momentos passados.

Agradeço ao professor Mário Eusébio, por todo o tempo despendido neste trabalho, mas também pelo acompanhamento e ajuda sempre que necessária.

Por estarem sempre a meu lado ao longo do meu percurso académico e, partilharem comigo todos os momentos de alegria e de dificuldades, agradeço aos meus melhores amigos Sara Torres e Tiago Caetano.

Por fim, mas não menos importante, ao Martim pela paciência, mas também por toda a dedicação e apoio que sempre demonstrou, um grande obrigado.

Novamente, porque todos merecem, muito obrigado!





# RESUMO

A globalização, através da quebra de barreiras mundiais, cada vez mais promove inevitáveis avanços socioeconómicos que resultam na instabilidade dos mercados e no aumento da sua competitividade. Para uma empresa produtora de fibras acrílicas que decide apostar no mercado de fibras de alta tenacidade como é o caso do precursor de fibra de carbono (PFC), é importante manter a sua posição no mercado de fibras têxteis, através do aumento da capacidade de produtos com valor acrescentado, como é o caso da fibra “*gel-dyed*”.

A implementação de um novo projeto de investimento decorre ao longo de várias etapas presentes no cronograma do mesmo, cada uma dividida por diversas ações. De entre estas ações, a análise de risco do sistema visando a qualidade do produto final, a análise de viabilidade económica do projeto para aprovação de um pedido de investimento e, a criação de diagramas de processo, todas elas realizadas no âmbito desta tese de mestrado.

A análise económica é caracterizada pelo recurso a indicadores de rentabilidade, de entre os quais, o valor atualizado líquido cujos valores se encontram num intervalo entre 536 427€ e 2 255 925€, a taxa interna de rentabilidade com percentagens entre os 65% e 208% e, o período de recuperação de capital com um intervalo entre os 2 anos e os 11 meses. Quando variados através de uma análise de sensibilidade, estes indicadores permitem reconhecer a viabilidade do projeto, sendo a margem bruta entre fibra “*gel-dyed*” e fibra em cru, o fator com maior impacto na sua sensibilidade.

Objetivando a otimização do processo é proposta a reavaliação periódica da análise de falhas, por forma a contemplar qualquer alteração ao âmbito que decorra no desenvolvimento do projeto. No perpassar destas alterações, é visível através de um controlo de custos a variabilidade das suas estimativas, sendo importante numa fase inicial a existência de recursos que auxiliem na minimização dessas flutuações, como são exemplos os diagramas de processo. Aumentando a precisão das estimativas de custos previstas inicialmente, é possível para a Fisipe um decréscimo nos valores de investimento requeridos num determinado projeto.

Uma atualização constante dos diagramas de processo da empresa permite uma visão real de todas as áreas processuais e seus constituintes, nomeadamente equipamentos, tubagens ou instrumentação.

Palavras-chave: fibras acrílicas; gel-dyeing; análise de falhas; análise de viabilidade económica.



# ABSTRACT

Through the breakage of worldwide barriers, globalization has increasingly promoted inevitable socio-economic breakthroughs which result on the markets instability and the increasing of their competitiveness. For an acrylic fiber producing company that decides to invest on high tenacity fibers market, such as carbon fiber precursor (CFP), it is important to keep its position on the textile fiber market, through capacity expansion of added value products, as is the case of gel-dyed fiber.

The implementation of a new investment project takes place over diverse stages evidenced in its timetable, each of them divided by several actions. Among these actions, a risk analysis of the system with a view to assuring quality of the final product, an economic viability analysis of the project to approve an application for investment aid and the creation of process diagrams, all of them created on this master thesis.

Economic analysis is characterized by profitability indicators among which the net present value whose values held between 536 427€ and 2 255 925€, the internal rate of return with percentages around 65% and 208% and, the payback period with a gap between 2 years and 11 months. When varied along a sensitivity analysis these indicators allow the project's viability recognition, being the gross margin between the types of fiber, the factor having the strongest impact on their sensitivity.

A periodic reevaluation of the failure analysis, aiming the process optimization, is purposed to include change of any kind to the extent while in the project development. As we go through these modifications it's clear, using a cost control, a certain variability in the cost estimates, being important in an initial phase the existence of resources that support minimizing these fluctuations, as for example, process diagrams. Increasing cost estimates initially foreseen accuracy, makes it possible to Fisipe a downward trend in the valor of a required investment in an engineering project.

A constant updating of a company's process diagrams allows a more real vision of all process units and their constituents, namely equipment, piping and instrumentation.

Key-words: acrylic fibers; gel-dyeing; failure analysis; economic viability analysis.



# Índice

<b>1. Enquadramento e Motivação.....</b>	<b>1</b>
1.1. A Fisipe .....	2
1.1.1. Instalação fabril.....	2
1.1.2. Processo de Produção.....	3
<b>2. Introdução.....</b>	<b>9</b>
2.1. Gel-Dyeing .....	9
2.2. Análise de Risco.....	12
2.3. Análise de Viabilidade .....	17
2.3.1. Período de Recuperação de Capital (PRC) .....	21
2.3.2. Índice de Rentabilidade (IR) .....	21
2.3.3. Valor Atualizado Líquido (VAL) .....	22
2.3.4. Taxa Interna de Rentabilidade (TIR).....	22
2.3.5. Taxa Interna de Rentabilidade Modificada (TIRM).....	23
2.3.6. Análise de Sensibilidade.....	23
2.4. Diagrama de Processo .....	24
2.4.1. Pressão.....	27
2.4.2. Temperatura .....	28
2.4.3. Nível.....	28
2.4.4. Caudal .....	29
<b>3. Metodologia .....</b>	<b>33</b>
3.1. Análise Modal de Falhas e Efeitos (FMEA) .....	34
3.2. Análise de Viabilidade .....	36
3.3. “ <i>Process and Instrumentation Diagram</i> ” .....	40
3.3.1. Instrumentação e Elétrica (E&I) .....	41
3.3.2. Tubagens.....	45
3.3.3. Equipamentos .....	47
<b>4. Apresentação e Discussão de resultados.....</b>	<b>50</b>
4.1. Análise Modal de Falhas e Efeitos (FMEA) .....	50
4.2. Análise de Viabilidade .....	53
4.2.1. Análise de Sensibilidade.....	60
4.2.2. Controlo de Custos .....	61
4.3. “ <i>Process and Instrumentation Diagram</i> ” .....	65

4.4. Propostas de Melhoria.....	65
<b>5. Conclusões e Propostas de Trabalho Futuro .....</b>	<b>67</b>
5.1. Conclusões.....	67
5.2. Propostas de Trabalho Futuro .....	68
<b>Referências Bibliográficas.....</b>	<b>70</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>73</b>
Anexo I – Caracterização dos índices da análise FMEA em vigor na Fisipe .....	73
Anexo II – Análise FMEA .....	75
Anexo III – Legenda P&ID segundo normas Fisipe .....	76
Anexo IV – P&ID's .....	77

# Lista de Figuras

Figura 1.1-Diagrama da instalação fabril na Fisipe. ....	3
Figura 1.2- Exemplo de um “spinneret” utilizado no processo de "wet-spinning". ....	7
Figura 1.3-Etapas processuais numa máquina de "spinning" que produza fibra “gel-dyed”. ....	8
Figura 2.1-Cozinha de Cores.....	10
Figura 2.2-Alimentação de corantes à cuba de tingimento.....	11
Figura 2.3-Sistema de recirculação da cuba de tingimento. ....	11
Figura 2.4-Taxa de falha durante a vida útil de um sistema. ....	12
Figura 2.5-A análise FMEA permite uma descoberta da falha numa fase inicial de desenvolvimento do produto.....	14
Figura 2.6-Tipos principais de análise FMEA. ....	16
Figura 2.7-Etapas da estimativa de custos.....	20
Figura 2.8-Perfil do valor atualizado líquido de um projeto convencional. ....	24
Figura 2.9-Válvula de Macho Esférico. ....	26
Figura 2.10-Configurações em T/L de uma válvula de macho esférico. ....	26
Figura 2.11-Válvula de Controlo Borboleta e Globo. ....	27
Figura 2.12-Medição de pressão numa tubagem. ....	28
Figura 2.13-Transmissor de pressão diferencial para medição de nível. ....	29
Figura 2.14-Representação da variação de pressão numa placa de orifício. ....	30
Figura 2.15-Representação do tubo de Venturi.....	30
Figura 2.16-Rotâmetro. ....	31
Figura 2.17-Exemplo de uma bomba peristáltica. ....	32
Figura 3.1-Cronograma do projeto. ....	35
Figura 3.2-Exemplo da representação de válvula de macho esférico no P&ID com respetiva numeração. ....	42
Figura 3.3-Exemplo da representação de uma válvula ON/OFF e de controlo com atuador pneumático.....	42
Figura 3.4-Representação de um anel de controlo no P&ID. ....	44
Figura 3.5-Alteração da linha de retorno de Astragal (retardador). ....	45
Figura 3.6-Representação de uma tubagem no P&ID.....	45
Figura 3.7-Diferença entre as representações dos tanques de corante das máquinas. ....	47

Figura 3.8-Representação da nomenclatura da bomba de recirculação no P&ID. ...	48
Figura 3.9-Representação da cuba TMD. ....	49
Figura 4.1- Segmentação dos índices que acrescem o número de priorização do risco, das 163 potenciais falhas analisadas.....	50
Figura 4.2- Segmentação dos índices que atribuem ao NPR um valor de risco, das 41 falhas potencialmente de risco elevado.....	52
Figura 4.3-Segmentação de custos por estimativa/orçamento das áreas: A- Mecânica; B-Tubagens; C-Instrumentação e Elétrica (E&I). ....	53
Figura 4.4-Percentagem de custos de investimento de cada área do projeto. ....	54
Figura 4.5-Diagrama do fluxo de caixa associado ao projeto nos diferentes cenários. ....	56
Figura 4.6-Variação de fluxos de caixa nos anos de análise do projeto com representação do valor de amortização. ....	57
Figura 4.7- Variação na estrutura de vendas, no valor atual anual e no valor atual acumulado do projeto, no decorrer do projeto. ....	59
Figura 4.8-Análise de sensibilidade ao impacto nos diferentes cenários da margem bruta de fibra "gel-dyed"/cru, no TIR e TIRM e no VAL e PRC.....	62
Figura 4.9- Análise de sensibilidade ao impacto nos diferentes cenários do investimento inicial, no TIR e TIRM e no VAL e PRC.....	64



# Lista de Tabelas

Tabela 3.1-Pressupostos criados para análise de viabilidade ao projeto. ....	37
Tabela 3.2-Índices utilizados na análise de viabilidade. ....	38
Tabela 3.3- Representação no P&ID das válvulas presentes nos desenhos 191079 e 191080. ....	41
Tabela 3.4-Tipos de instrumentos presentes no processo. ....	43
Tabela 3.5-Tipos de sinais de instrumentação. ....	44
Tabela 3.6-Lista de fluídos do processo com respectivas siglas. ....	46
Tabela 3.7-Classes de isolamento usadas na Fisipe. ....	46
Tabela 3.8-Representação de bombas utilizados nos P&ID. ....	49
Tabela 4.1- Exemplos de tipos de falha designados com número de priorização do risco elevado e respectivas ações de mitigação recomendadas. ....	51
Tabela 4.2- Alterações implementadas na SPM2 a nível de instrumentação. ....	55
Tabela 4.3-Comparação de índices de rentabilidade entre cenários utilizados. ....	58
Tabela 4.4- Controlo de custos no decorrer da semana 36 do projeto. ....	63
Tabela 4.5- Desenhos realizados para a máquina 2. ....	65



# Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos

<b>55CR</b>	Solução rica em solvente
<b>A</b>	Comonómero do Precursor de Fibra de Carbono
<b>AC</b>	Ácido Acético
<b>AN</b>	Acrilonitrilo
<b>AV</b>	Acetato de Vinilo
<b>CB</b>	Corte e Embalagem
<b>CF</b>	<i>"Cash-Flow"</i>
<b>CP</b>	Polimerização Contínua
<b>CR</b>	Solvente Dimetilacetamida
<b>CW</b>	Água Gelada
<b>DCS</b>	<i>"Distributed Control System"</i>
<b>DIW</b>	Água Desmineralizada
<b>DMA</b>	Dimetilamina
<b>DMAc</b>	Dimetilacetamida
<b>DP</b>	Preparação de Xarope
<b>E&amp;I</b>	Instrumentação e Elétrica
<b>FMEA</b>	<i>"Failure Mode and Effect Analysis"</i>
<b>FMECA</b>	<i>"Failure Mode, Effects and Criticality Analysis"</i>
<b>FMEDA</b>	<i>"Failure Modes, Effects and Diagnostic Analysis"</i>
<b>FMMEA</b>	<i>"Failure Modes, Mechanisms and Effects Analysis"</i>
<b>HAZOP</b>	<i>"Hazard and Operability Study"</i>
<b>MTO</b>	<i>"Material Take Off"</i>
<b>NPR</b>	Número de Priorização de Risco
<b>PFC</b>	Precursor de Fibra de Carbono
<b>PFD</b>	<i>"Process Flowsheet Diagram"</i>
<b>P&amp;ID</b>	<i>"Piping and Instrumentation Diagram"</i>
<b>PLC</b>	<i>"Programmable Logic Controllers"</i>
<b>PRC</b>	Período de Recuperação de Capital
<b>S<sub>f</sub></b>	Valor de Saturação
<b>SP</b>	<i>"Spinning"</i>
<b>SPM</b>	<i>"Spinning Machine"</i>
<b>TCC</b>	Técnicos de Controlo de Cores

<b>T<sub>g</sub></b>	Temperatura de Transição Vítrea
<b>TIR</b>	Taxa Interna de Rentabilidade
<b>TIRM</b>	Taxa Interna de Rentabilidade Modificada
<b>TRC</b>	Taxa de Rentabilidade Contabilística
<b>TT</b>	<i>“Tow-to-Top”</i>
<b>TW</b>	Água de Refrigeração
<b>UT</b>	Utilidades
<b>VAL</b>	Valor Atualizado Líquido
<b>VSD</b>	Variador de Frequência
<b>W</b>	Água Industrial

# 1. Enquadramento e Motivação

O segmento das fibras sintéticas detém cerca de metade do consumo global de fibra, podendo estas serem segmentadas dependendo da matéria-prima que lhes dá origem. As fibras acrílicas apresentam-se como o terceiro maior segmento de fibras sintéticas, presididas pelas fibras de poliéster e o nylon [1,2]. Devido às propriedades físicas e químicas que apresentam, a procura por fibras acrílicas despoletou a abertura de diversas fábricas que optaram por iniciar a produção e desenvolvimento de novas fibras acrílicas. De entre estas empresas, a Fisipe, única produtora em Portugal.

O mercado de fibra acrílica tem vindo a assistir a um crescimento constante com o passar do ano de 2017 e é expectável que se mantenha um ritmo semelhante ao longo dos próximos anos, despoletado por um aumento na procura de peças de vestuário e de novas tendências no mercado mobiliário. Atualmente, a fibra “*gel-dyed*” detém a maior percentagem de mercado das fibras acrílicas, prevendo-se um crescimento de 3,8% anual, até 2024 [3].

A Fisipe, sendo uma empresa que aposta no mercado de precursor de fibra de carbono (PFC), procura aumentar a capacidade neste tipo de produção, convertendo uma nova máquina de “*spinning*”. Como tal, e com o intuito de preservar a capacidade de produção de fibra têxtil tinta (cerca de 20%) para fazer face ao mercado, é necessária a conversão de uma linha industrial de fibra acrílica que até então produzia apenas fibra acrílica crua, num sistema de produção de fibra tinta.

A margem de lucro entre a fibra acrílica tinta e a fibra crua representa um importante fator económico para a Fisipe, tornando-se favorável a conversão desta nova máquina.

Com este projeto, surge a oportunidade de realização de um estágio curricular na Área de “*Spinning*”, em conjunto com o departamento de Engenharia da Fisipe, com o propósito de **instalar um sistema de produção de fibra tinta numa linha industrial de fibra acrílica**, através da conversão da máquina de “*spinning*” número 2. O estágio curricular, com a duração de 6 meses, teve como seu término a realização da dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Química e Bioquímica, para efeito de conclusão de curso.

Como pontos conclusivos do presente trabalho foram delineados:

- I. Estudo do risco associado à implementação de um novo projeto em ambiente fabril e sua minimização.
- II. Atualizar e construir novos diagramas de processo e instrumentação (“*Process and Instrumentation Diagram*”) para a máquina de “*spinning*” 2.
- III. Análise de viabilidade à instalação do processo de “*gel-dyeing*” na máquina em questão, tanto quantitativamente como qualitativamente.

## 1. Enquadramento e Motivação

### 1.1. A Fisipe

A FISIFE, SA é um produtor europeu de fibras acrílicas com fábrica situada no Lavradio, fundada em 1973 por uma “*joint-venture*” entre a CUF (Companhia União Fabril), de capital maioritário (60%) e o grupo Mitsubishi. Trata-se de uma empresa que exporta 99% da sua produção que se estende desde o precursor de fibra de carbono a fibras acrílicas especiais: fibras pré-tintas, funcionais e para aplicações técnicas, com recurso à tecnologia “*wet-spun*” de origem Japonesa [4].

Em 1974 devido à revolução de 25 de Abril, o arranque da fábrica é adiado e só em 1976 é inaugurada a nova unidade fabril com uma capacidade de 12 500 ton/ano de produção de fibra acrílica (em cabo e rama). Após sucessivos aumentos de capacidade proporcionados pelo início de produção de tipos especiais de fibra acrílica, é em 1984 que surgem os primeiros resultados positivos da Fisipe, com um “*revamping*” de capacidade até às 45 000 ton/ano, permitindo assim atingir a competitividade internacional.

Na segunda metade da década de oitenta a empresa inicia a sua cotação na Bolsa de Valores de Lisboa, tendo sido novamente abalada quando em 1986 surge uma nova crise, com a abolição das fronteiras europeias no que se refere aos produtos têxteis.

No ano 2000, a estratégia do negócio de fibras acrílicas foi reanalisada, tendo-se adquirido uma nova fábrica em Barcelona. Contudo, esta acaba por fechar em 2004, obrigando a uma injeção de capital para viabilizar a empresa e facilitar a sua alienação. Simultaneamente, é constituída uma Sociedade Gestora de Participações Sociais, a Negofor. Seguindo o ano de 2007, é comunicado à Fisipe a desativação da Central Térmica do Barreiro por razões ambientais, pelo que se constitui uma Sociedade Veículo (FISIGEN) em cooperação com a EDP, permitindo assegurar o fornecimento de vapor em melhores condições ambientais e operacionais.

Entretanto, a Fisipe decide apostar em oportunidades que potenciam um maior crescimento para o negócio das fibras acrílicas, particularmente as fibras de alta tenacidade onde se destaca o precursor de fibra de carbono (PFC). Seguindo este pensamento, é iniciado o desenvolvimento de uma segunda instalação piloto, concluída em 2010.

No decorrer do ano 2011, iniciam-se os contactos da Fisipe com o mercado para a venda de fibras acrílicas precursoras produzidas na nova instalação piloto, e é através deste processo que, em 2012, o Grupo SGL, o maior produtor europeu de fibra de carbono, adquire a Fisipe na sua totalidade. Através da conversão de uma linha de produção de fibra têxtil para a produção de precursor de fibra de carbono e da formação de uma nova área de polimerização, inicia-se o fabrico de precursor a nível industrial, na Fisipe [5].

#### 1.1.1. Instalação fabril

O processo de produção de fibra acrílica e fibras técnicas na Fisipe requer diversas operações, estando, como tal organizada em diferentes áreas fabris (Figura 1.1).

### 1.Enquadramento e Motivação

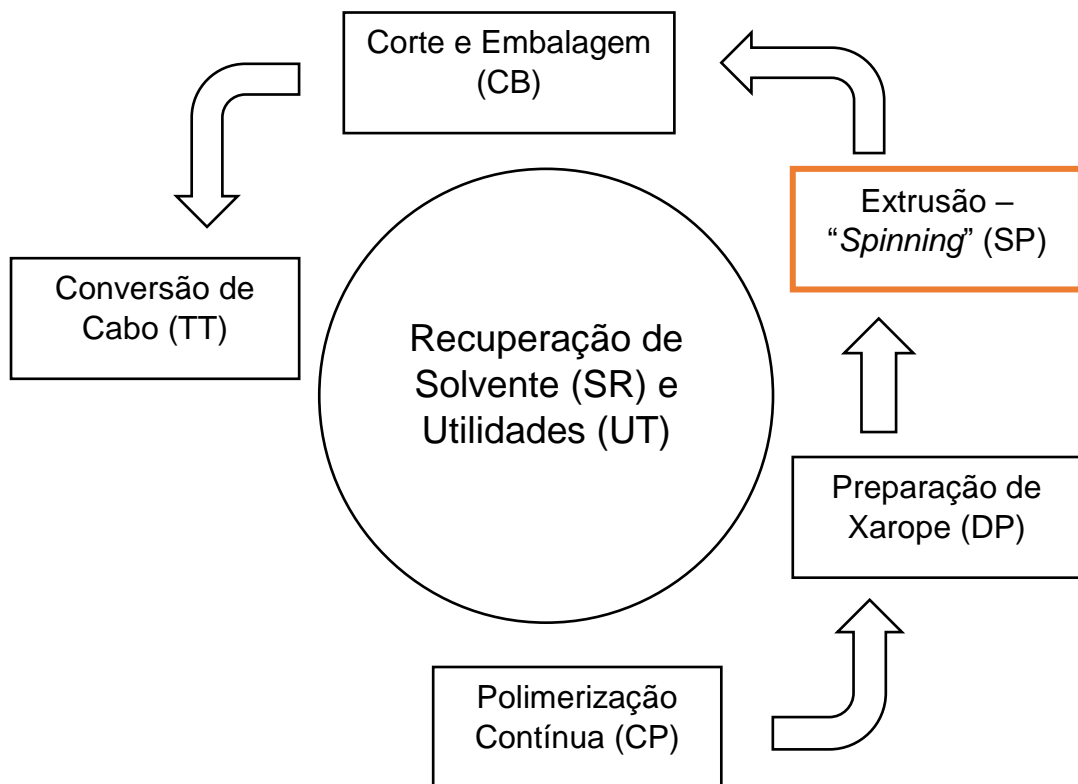


Figura 1.1-Diagrama da instalação fabril na Fisipe.

Estas áreas fabris encontram-se apoiadas por duas instalações piloto, uma área laboratorial, armazéns correspondentes aos produtos acabados e peças de reserva e duas áreas de manutenção, elétrica e instrumentação e mecânica. Destacada encontra-se a área de “*spinning*”, local onde se incidirá este trabalho.

#### 1.1.2. Processo de Produção

##### Área de Utilidades – UT

Para o funcionamento de uma instalação fabril é necessária uma área abastecedora de utilidades consumidas ao longo do processo. Na Fisipe, a área de utilidades fornece água de refrigeração (TW), água gelada (CW), água industrial (W), água desmineralizada (DIW), ar comprimido e eletricidade.

O princípio de funcionamento das torres de refrigeração que produzem a TW baseia-se no contacto direto entre uma corrente ascendente de ar que aquece e humidifica e uma corrente descendente de água que irá arrefecer, quer por perda de calor sensível, quer por cedência de calor necessário à vaporização. Na Fisipe, a circulação nas torres de refrigeração é forçada, estando o ventilador colocado no topo.

## 1. Enquadramento e Motivação

Nas instalações da Fisipe existem dois circuitos distintos de água de refrigeração. O maior destes circuitos encontra-se na área de utilidades (UT) enquanto o outro circuito localiza-se na área de extrusão- “*spinning*” (SP) e a água de refrigeração que abastece designa-se por TW-A.

No que diz respeito à água gelada (CW), o funcionamento do sistema de refrigeração baseia-se na implementação prática do ciclo ideal de *Carnot* numa vertente designada como ciclo de compressão-vapor de *Rankine*<sup>1</sup>.

A água desmineralizada (DIW) é utilizada em processos que requeiram uma água com grau de pureza extremamente elevado e com baixo teor de sais dissolvidos. Na Fisipe, a produção de água desmineralizada é realizada por osmose inversa. Contudo, uma vez que a unidade de osmose inversa por si só não garantia o cumprimento da especificação em termos de sílica e/ou condutividade, foi necessária a instalação de uma unidade de eletrodesionização.

A água da rede industrial é captada através de dois furos e utilizada na rede que abastece a fábrica em geral, sendo também utilizada para permutas de calor, produção de água desmineralizada e na rede de incêndios.

A produção de ar comprimido é assegurada por compressores elétricos do tipo alternativo (pistão) ou rotativo. A Fisipe dispõe de três tipos de ar comprimido, o ar de Instrumentos, de Processo e de Serviços Gerais. Quanto ao vapor, este é fornecido pela EDP (FISIGEN), existindo duas linhas de vapor a 5 bar e uma linha de vapor a 20 bar. A eletricidade é também fornecida por meio da EDP.

### Área de Recuperação de Solvente – SR

Nesta área procede-se a três operações que viabilizam a reciclagem do solvente (CR) e água recuperada de volta ao processo produtivo. São estas operações, o processo de separação de líquidos de forma a recuperar o solvente (Processo SR), a produção de solvente (Processo SM) e remoção de sólidos acumulados no processo.

#### O processo SR

A corrente proveniente da área de extrusão- “*spinning*”, denominada 13+55CR é alimentada à área de recuperação de solvente. Esta corrente, para além de solvente e água, contém outros contaminantes como sólidos (polímero degradado e sais insolúveis) e, produtos resultantes da hidrólise do solvente, da qual resultam a dimetilamina (DMA) e o ácido acético (AC).

---

<sup>1</sup> Ciclo de compressão-vapor de *Rankine* - A refrigeração é obtida no evaporador onde o refrigerante (no caso da Fisipe, amoníaco) é vaporizado, sendo o calor posteriormente rejeitado no condensador, onde ocorre a condensação do refrigerante. A energia necessária para a elevação da temperatura do refrigerante é fornecida pelo compressor sob a forma de trabalho.



## 1. Enquadramento e Motivação

Para a recuperação do solvente recorre-se a quatro colunas de destilação, com quatro efeitos distintos, colocadas em série e com pressão de cabeça em redução sucessiva, permitindo a utilização dos vapores de cabeça de cada coluna como única fonte de calor para a coluna seguinte. Quanto aos produtos resultantes da hidrólise do solvente, são removidos em colunas de “*stripping*” e reutilizados no processo SM para produção de solvente. No que diz respeito aos sólidos e concentrações de produtos degradados no sistema de recuperação de solvente, o seu controle é realizado através do sistema de remoção de sólidos cujo objetivo passa pelo tratamento de purgas feitas no tanque vaporizados da alimentação da coluna de 1ºefeito.

### *O processo SM*

No processo SM procede-se à reação entre a dimetilamina (DMA) e o ácido acético (AC), tendo como produto da reação o solvente dimetilacetamida (DMAc). Como função secundária, o processo SM é responsável por remover impurezas do solvente, mantendo a sua quantidade abaixo de um valor definido.

Os reagentes são misturados numa coluna de enchimento (“scrubber” de AC-DMA). A mistura de AC contendo DMA é transferida para o reator, onde se lhe junta a mistura AC-CR proveniente da coluna de “*stripping*” de AC do processo SR e a dimetilamina “fresca”.

### **Polimerização Contínua – CP**

Na área de polimerização contínua efetua-se a reação de polimerização em emulsão aquosa do acrilonitrilo (AN) e Acetato de Vinilo (AV), para produção de fibra acrílica têxtil. A reação de copolimerização entre ambos os monómeros, resulta num polímero designado por Poli (Acrilonitrilo-co-Acetato de Vinilo) ou P (AN-co-VAc). No caso do precursor de fibra de carbono, o comonómero que reage com o acrilonitrilo difere do utilizado nas fibras têxteis e é designado por “A”.

Ainda nesta área ocorrem as operações de separação, lavagem, filtração, peletização, secagem e moagem do copolímero, bem como a recuperação de monómeros e preparação de alimentações. Para a reação de polimerização entre o acrilonitrilo e o acetato de vinilo, a Fisipe recorre a uma bateria de quatro reatores CSTR perfeitamente agitados onde, por transbordo, a suspensão aquosa é transportada ao longo de uma tubagem de descarga para uma coluna de destilação onde irá ocorrer a separação dos monómeros que não reagiram na reação, a chamada coluna “*Direct Slurry Feed*”. A suspensão aquosa isenta de monómeros por reagir é encaminhada para um filtro rotativo onde se procede à lavagem/filtração do polímero. O bolo de polímero obtido cai por uma calha de escoamento até um peletizador, onde o polímero húmido é extrudido, seguindo-se a etapa de secagem onde os “*pellets*” formados são progressivamente secos por uma corrente descendente de ar quente. No final deste processo, os “*pellets*” secos passam por uma operação de moagem com recurso a um moinho de martelos sendo seguidamente encaminhados pneumaticamente para os silos de armazenagem localizados na área PS.

## 1. Enquadramento e Motivação

Os filtrados e águas de lavagem provenientes do filtro rotativo são ainda enviados para uma coluna de destilação onde se procede a uma remoção dos monómeros que não reagiram, que porventura restem. Esta coluna é designada por “*Monomer Stripping*”.

### Preparação do Xarope – DP

A preparação do xarope trata-se de uma área intermédia entre o polímero proveniente da área de polimerização contínua e a área de extrusão- “*spinning*” (SP). Nesta área o polímero passa por uma etapa de mistura com o solvente, desarejamento da suspensão resultante, dissolução do polímero no solvente de forma a formar o xarope, filtração e por fim, o seu fornecimento à área SP.

O polímero, armazenado num silo tampão, passa por fluxo contínuo por balanças de pesagem, sendo posteriormente misturado com um caudal controlado de solvente. A suspensão formada é descarregada em novos silos tampão e posteriormente enviada para um tanque de desaerificação. Após o seu aquecimento, o polímero agora dissolvido é encaminhado para os filtros prensa onde ficam retidas impurezas e também partículas sólidas de polímero não dissolvidas. Por fim, a mistura é transportada para os tanques de spin, de onde é bombeada para a área SP em forma de xarope brilhante.

O xarope pode ser fornecido à área de extrusão- “*spinning*” (SP) em forma de xarope brilhante ou, como xarope mate após adição de suspensão de delustrante (Suspensão de  $\text{TiO}_2$ ). É ainda possível adicionar uma dispersão de negro de fumo ao xarope brilhante produzido na área DP de forma a produzir uma fibra têxtil pigmentada. O polímero e o solvente, sob qualquer forma (pó, xarope, fibra), não aproveitados ao longo de todo o processo são recuperados, produzindo-se a partir deles uma outra variedade de xarope, o xarope regenerado, do qual se obtém fibra de segundo grau (AA).

### Área de Extrusão – “*Spinning*” – SP

Antes de ser alimentado a cada uma das dez máquinas de “*spinning*”, o xarope é aquecido, doseado e enviado para uma etapa de filtração anterior à sua extrusão através dos “*spinnerets*”, ilustrados na Figura 1.2.

Os “*spinnerets*”, compostos por diversos orifícios que o xarope atravessa antes de coagular, encontram-se imersos na cuba dupla de coagulação, que contém uma solução aquosa de solvente CR em recirculação. A coagulação é possível devido ao carácter hidrofílico do solvente que migra da fita para o banho de coagulação. Após a coagulação, as fitas formadas passam por diversas etapas de lavagem (quente e fria) e estiramento, conseguido através da diferença de velocidades entre os rolos. Ocorre, ainda, uma operação de neutralização com bicarbonato de sódio, para a neutralização do ácido arrastado nas fitas. Seguidamente à lavagem, as fitas sofrem uma aplicação de acabamento e uma operação de secagem num conjunto de rolos secadores.

## 1. Enquadramento e Motivação



Figura 1.2- Exemplo de um “spinneret” utilizado no processo de “wet-spinning” [6].

A fibra é então preparada para a operação de frisagem que decorre num “*crimper*” composto por um par de rolos mordentes que forçam a fibra para uma caixa de saída restringida. Esta etapa permite um manuseamento posterior da fibra sem dar lugar a emaranhamentos. No final, a fibra (“*spun tow*”) cai num distribuidor que a deposita num contentor metálico (área de corte e embalagem - CB).

Ainda anterior à lavagem a quente, é possível incorporar uma cuba de tingimento, de forma a produzir fibra tinta “*gel-dyed*”, designada na Fisipe por fibra L25, à qual é aplicada uma mistura de corantes catiónicos preparada para se obter a cor pretendida. Na instalação fabril da Fisipe é ainda possível obter fibras tintas através do tingimento por impregnação de pigmentos num processo anterior à coagulação do xarope.

Através da Figura 1.3, é possível visualizar as etapas processuais decorrentes numa máquina de “*spinning*”, para produção de fibra “*gel-dyed*”.

### Área de Corte e Embalagem – CB

Todo o “*spun tow*” proveniente da área de extrusão – “*spinning*” é encaminhado por uma etapa de recozimento numa autoclave. Após esse processo, a fibra tratada pode dar origem a dois tipos de produto: cabo e rama. Por sua vez, o cabo pode ser embalado e fornecido à área “*Tow-to-Top*” (TT) de forma a produzir fibra em TOP, que determina o tipo de produto final em função da sua utilização futura pela indústria têxtil. O TOP pode ainda assumir uma de três formas:

### 1.Enquadramento e Motivação

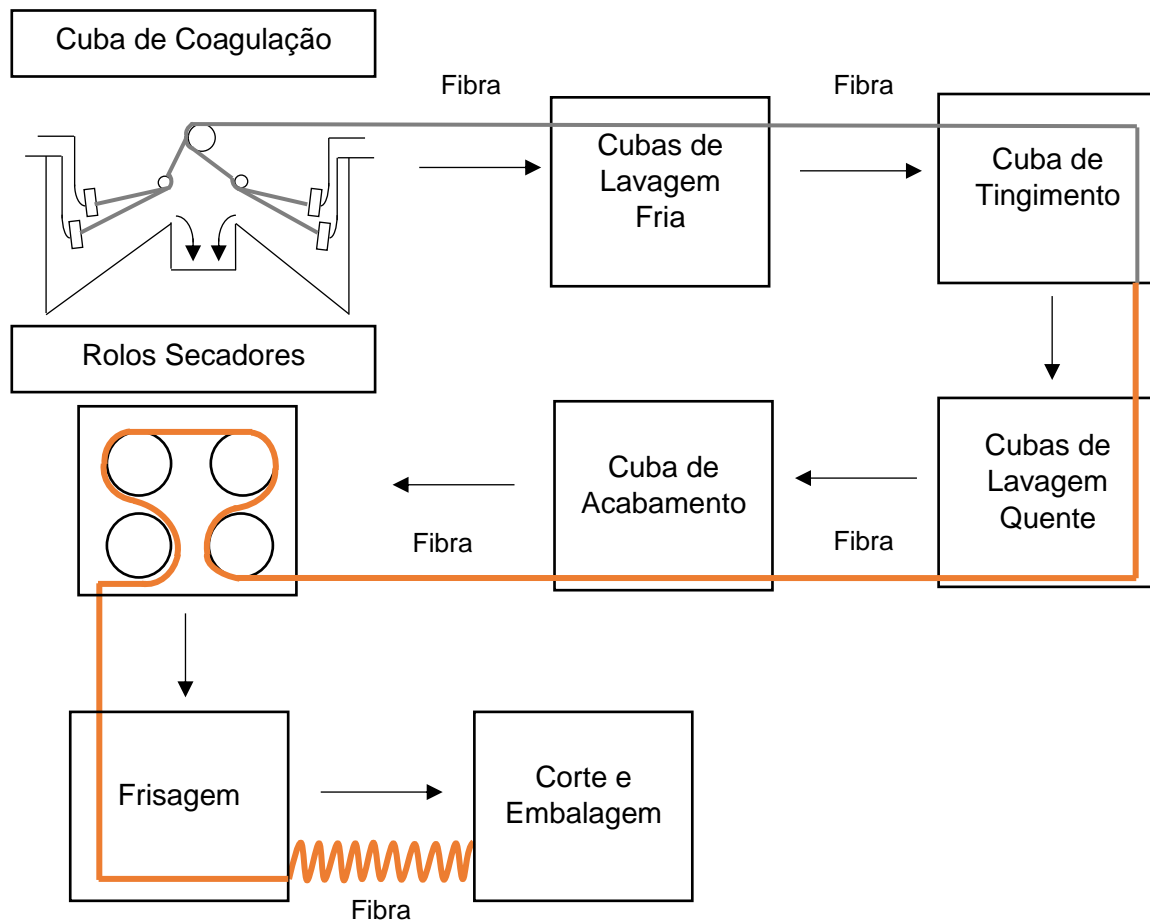


Figura 1.3-Etapas processuais numa máquina de "spinning" que produza fibra "gel-dyed".

- Top normal (N);
- Top alto volume (AV);
- Top 100% retrátil (R)

No caso de a fibra recozida ter como finalidade rama, é submetida ainda a um processo de refrisagem, arrefecimento, corte e embalagem. Pode ainda dar-se o caso de a rama ser retrátil e, nesse caso, será ainda sujeita a um estiramento antes da refrisagem.

Após a prensagem, as unidades obtidas são revestidas e etiquetadas e, posteriormente colocadas no armazém, aguardando decisão do controle de qualidade.

## 2. Introdução

### 2.1. Gel-Dyeing

Em linha industrial de fibra acrílica é possível o tingimento da fibra através de uma solução de corantes, após a formação da estrutura da fibra ou no seu estado inicial de “gel”.

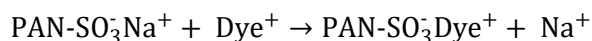
O estado “gel” da fibra é formado aquando da extrusão do xarope por entre os “*spinnerets*”, resultando numa estrutura altamente elástica, contendo tanto solvente como não-solvente. Após o primeiro estiramento nos rolos (designado por “*jet-stretch*”) e uma lavagem a frio para retirar a maioria do solvente contido na fibra, a sua estrutura adquire uma formação estável, ainda permanecendo no estado “gel”. Nesta fase, a fibra é altamente absorvente e permite a rápida difusão de corantes no seu interior através da ligação entre os terminais catiónicos dos corantes e os grupos aniónicos da fibra, os chamados “*dye-sites*”. O número de terminais aniónicos na fibra determina a quantidade máxima de corante possível absorver pela mesma, ou seja, o seu valor de saturação ( $S_f$ ) (Equação 2.1) [1,2].

O cálculo do valor de saturação ( $S_f$ ) é dependente da percentagem de corante necessária para saturar a fibra ( $p_s$ ) e de um fator de saturação do corante ( $f$ ). Este valor de saturação é constante para cada tipo de fibra [7].

$$S_f = p_s \times f \quad (2.1)$$

Habitualmente o acrilonitrilo é integrado numa reação de copolimerização com, pelo menos, um monómero distinto em quantidade inferior, que contém os terminais aniónicos (grupos carboxílicos ou sulfónicos). Esta reação permite uma estrutura mais aberta da fibra e um decréscimo na temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ), permitindo uma melhor penetração dos corantes na fibra [7].

O tingimento da fibra com recurso a corantes catiónicos envolve três etapas, sendo a primeira a adsorção de corantes na superfície da fibra. Esta primeira fase ocorre rapidamente e quase independentemente da concentração de corante no banho de tingimento. A etapa de difusão do corante para o interior da fibra inicia-se a temperaturas acima da temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ), nas quais as moléculas constituintes da fibra contêm energia suficiente para se moverem, permitindo um amolecimento da fibra e, conseqüente penetração dos corantes. Quando a temperatura do banho atinge a temperatura de transição vítrea, a velocidade de tingimento aumenta sendo necessário um controlo estrito, de forma a evitar variações elevadas de temperatura. Por fim, a fixação dos corantes na fibra ocorre com a ligação dos grupos catiónicos de corante aos terminais aniónicos da fibra, através de uma troca de iões [8]:



## 2.Introdução

Na Fisipe, todo o processo se inicia na chamada “Cozinha de cores”, responsável pelo armazenamento dos corantes individuais e sua pesagem para cada cor. Para prevenção contra a formação de depósitos em tubagens ou equipamentos é adicionado a cada preparação de cor, um dispersante. Estas tarefas são controladas por um PLC comum que coordena o armazenamento e efetua as pesagens e envio para a linha desejada (Figura 2.1).

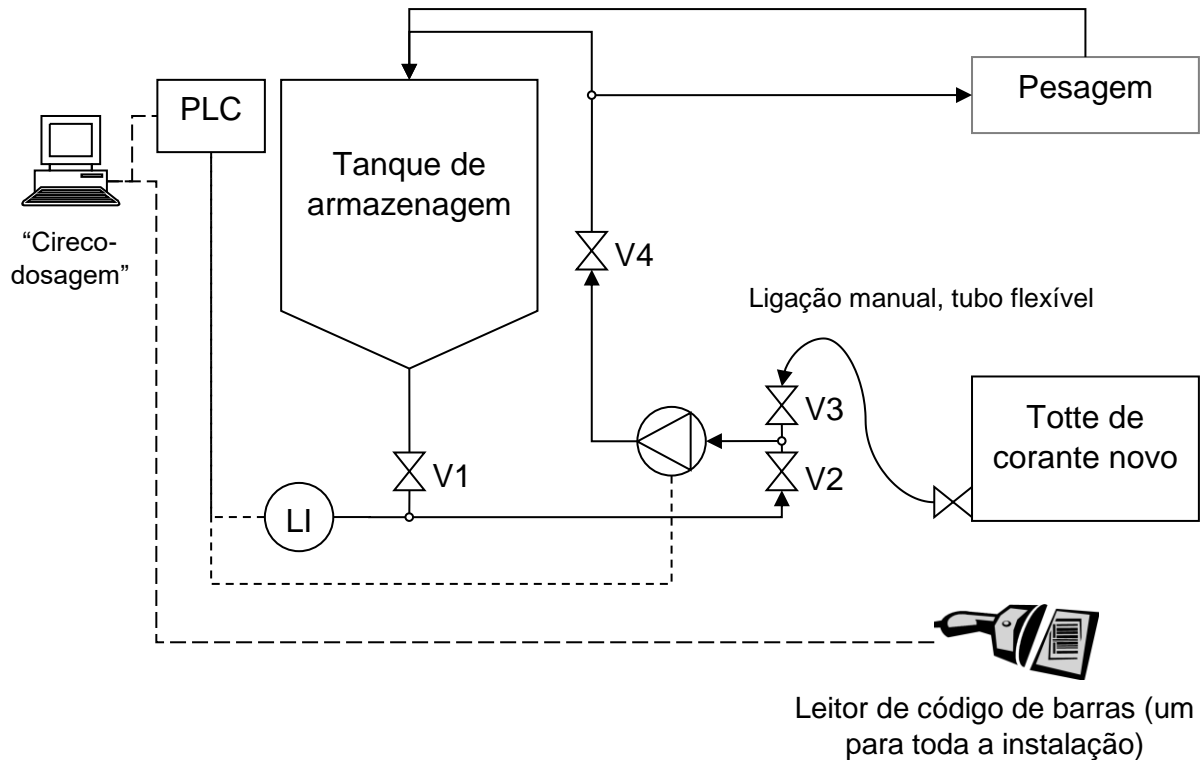


Figura 2.1-Cozinha de Cores.

Os corantes comumente utilizados encontram-se no estado líquido devido à possibilidade de alimentação de cargas superiores e, por conseguinte, em resultado da quantidade necessária de corante em cada carga. Pelo contrário, formulações para aplicação em pó, para além de resultarem numa maior sujidade envolvente, requerem imenso tempo em processos de dissolução e dificuldades de pesagem.

A solução de corantes é armazenada nos tanques respetivos a cada máquina de “*spinning*”, para posterior doseamento e alimentação à cuba de tingimento. Após o doseamento da solução de corantes em cada máquina, o controlo das restantes funcionalidades e condições do sistema, é efetuado através de um PLC distinto (Figura 2.2).

O banho de tingimento é recirculado (Figura 2.3) a uma determinada temperatura e a uma velocidade suficiente para compensar possíveis alterações na concentração de corantes que

## 2.Introdução

potenciam a sua rápida exaustão na fibra, permitindo o seu tingimento ininterrupto. Visando o decrescer desta taxa de exaustão de corantes na fibra e, a obtenção de tingimentos uniformes, recorre-se ao uso de retardadores (catiônicos ou aniônicos) para controlar as velocidades de tingimento [7]. O banho de tingimento é também constituído por solvente e água em excesso, provenientes do transbordo em contracorrente, das cubas posteriores à cuba de tingimento. O vazamento total da linha de recirculação do banho de tingimento é fundamental para que sejam evitadas contaminações no arranque da cor seguinte e, por forma a acelerar a limpeza da cuba de tingimento e respetivo circuito de recirculação.

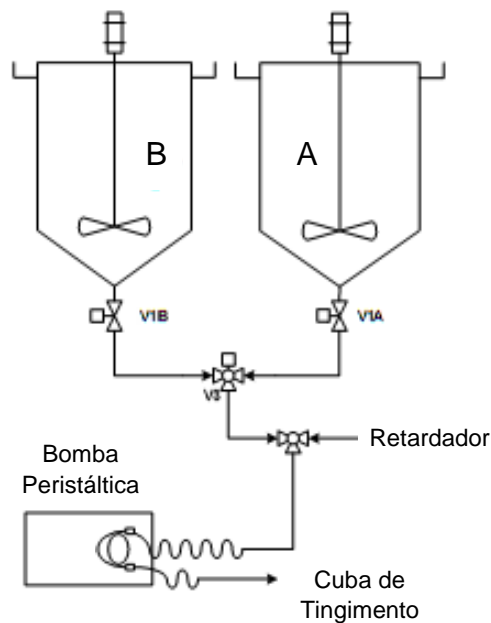


Figura 2.2-Alimentação de corantes à cuba de tingimento.

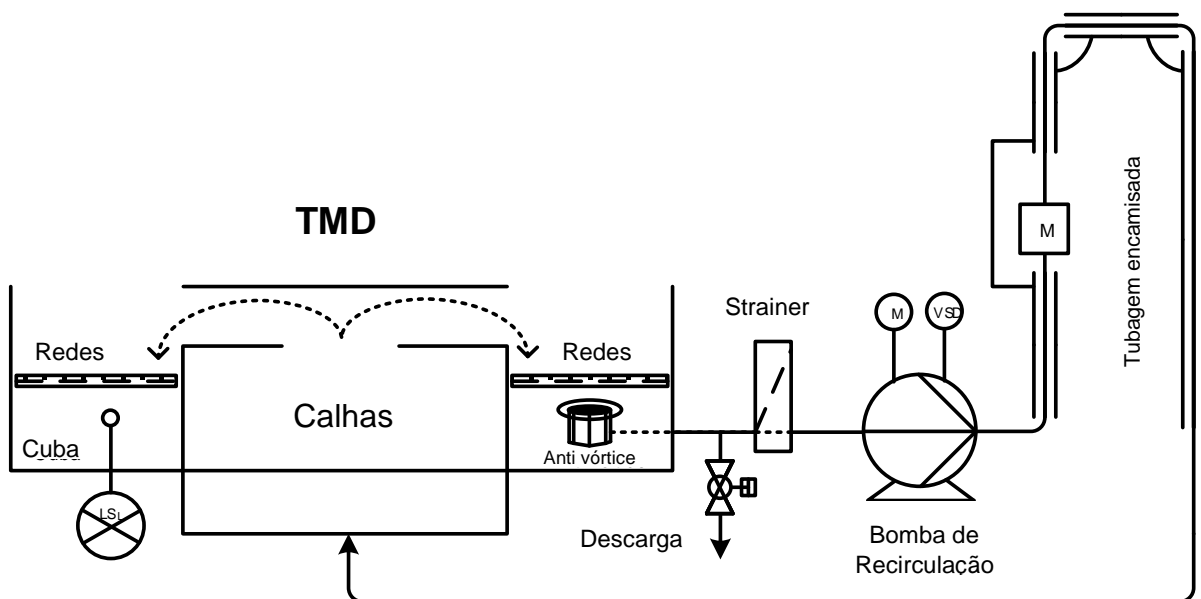


Figura 2.3-Sistema de recirculação da cuba de tingimento.

## 2.Introdução

O pH no qual é realizado o tingimento da fibra deve ser também ele controlado e mantido a um valor médio inferior a 6, de forma a manter a estabilidade de certos corantes. Este nível de acidez é mantido com recurso à adição de ácido acético na solução de corantes de tingimento.

O posicionamento das calhas por onde passa cada fita de fibra acrílica na cuba de tingimento origina dois tipos distintos de cubas, as FM e as TM, segundo normas Fisipe. Nas cubas TM, o fluxo é ascendente e, por esse motivo, cada calha tem a sua própria tampa. No fundo da mesa encontra-se um distribuidor que encaminha o caudal em recirculação igualmente por cada calha. Pelo contrário, nas cubas FM, o fluxo é realizado no sentido descendente, havendo uma tampa inferior comum a todas as calhas. São mesas de mais fácil construção e manutenção e apresentam vantagens a nível de segurança. A cuba de tingimento é do tipo TM, permitindo uma maior uniformidade de lavagem e eficiência do tingimento, sendo posteriormente designada por cuba TMD ao longo deste trabalho.

## 2.2. Análise de Risco

O mau funcionamento de um sistema ou componente individual pode ser designado como uma falha inaceitável entre o seu desempenho expectável e o real, o que pode levar a que o mesmo não seja conseguido de forma segura, confiável ou económica. O comportamento expectável da taxa de falha de um determinado sistema pode ser descrito através da chamada curva “banheira”, representada na Figura 2.4, na qual são identificadas três zonas distintas da vida útil do mecanismo. Durante a fase inicial, o índice de insucesso é elevado devido a possíveis falhas a nível de projeto ou montagem, seguindo-se o período de vida útil do sistema, no qual o índice de falha se mantém constante sendo estas falhas aleatórias. Contudo, após este período, a taxa de insucessos volta a aumentar de forma expectável, por efeito da degradação adquirida ao longo dos anos.

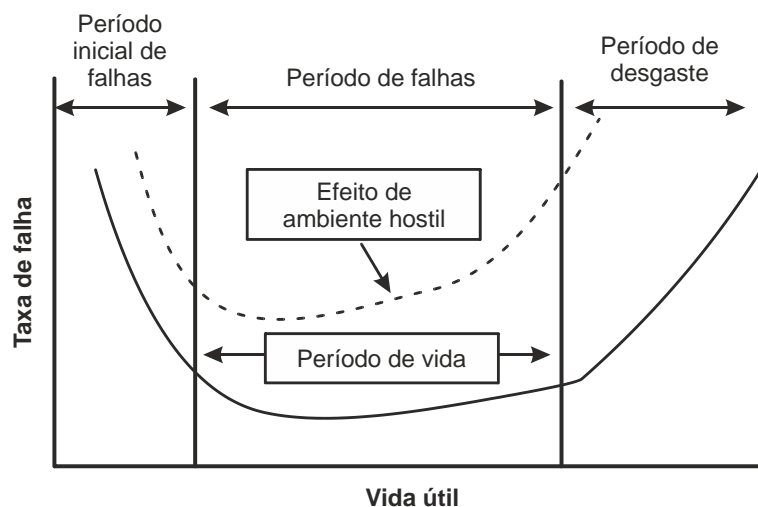


Figura 2.4-Taxa de falha durante a vida útil de um sistema [9].



## **2.Introdução**

Tal como representado, uma falha pode ser introduzida no sistema ao longo das diferentes etapas de fabrico e utilização ou manutenção pelo que, a existência de uma análise detalhada de riscos associados ao sistema e, de falhas antecedentes pode prevenir a ocorrência de desvios ao normal funcionamento do mesmo, reduzindo a taxa de insucessos na fase embrionária do sistema e aumentando o tempo de vida útil deste. É importante ainda distinguir numa análise de insucessos, o termo defeito e falha. Um defeito é por si, uma condição que deve ser removida ou corrigida, enquanto uma falha pode eventualmente tornar-se num defeito caso interfira com a função ou tempo de vida expectável para um determinado sistema [9].

Como método de estudo de fiabilidade de um processo industrial dependente de uma estrutura com variados níveis de complexidade, são empregues metodologias para avaliação de possíveis riscos, diferindo no propósito em estudo. É possível realizar uma análise de risco tendo em conta somente questões de segurança como é o caso de um estudo de perigos e operabilidade (HAZOP) e, não o global de desempenho, qualidade e fiabilidade de um determinado sistema ou produto analisado através de uma análise modal de falhas e efeitos (FMEA).

O método HAZOP, desenvolvido em 1960 pela empresa ICI, foi primeiramente utilizado e melhorado pela Associação de Indústrias Químicas (CIA), apresentado no seu manual em 1977. Trata-se de uma análise estruturada de um sistema, processo ou operação para a qual se encontra disponível informação detalhada de formato elaborada por uma equipa multidisciplinar [10]. A metodologia HAZOP é por si, um método qualitativo para análise de segurança, tais como, uma lista de afazeres ou estudos preliminares de perigo. Ao contrário da FMEA que identifica modos de falha num sistema e foca-se maioritariamente no resultado a nível processual, recorrendo a falhas conhecidas dos equipamentos presentes no sistema, o método HAZOP determina deformações físicas do próprio equipamento sendo recorrentemente utilizado como mecanismo num estudo de segurança do mesmo, utilizando palavras-chave para identificar anormalidades no sistema [11].

Por sua vez, a FMEA baseia-se numa análise realizada por uma equipa multifuncional, com conhecimento e capacidade para avaliar de forma consciente e pertinente uma determinada falha associada a um sistema ou processo. O seu intuito passa por descobrir e possivelmente corrigir fragilidades no produto ou no processo que lhe dá origem, numa fase anterior à sua comercialização (Figura 2.5). Tendo por base a Regra do Fator de 10, na qual é descrito o aumento da despesa associada ao período entre a descoberta e a correção da falha, por fatores de 10, uma análise de risco bem fundamentada e abrangente permite uma redução de custos, através da prevenção de eventuais adversidades numa fase inicial, onde a despesa é inferior [12].

## 2.Introdução

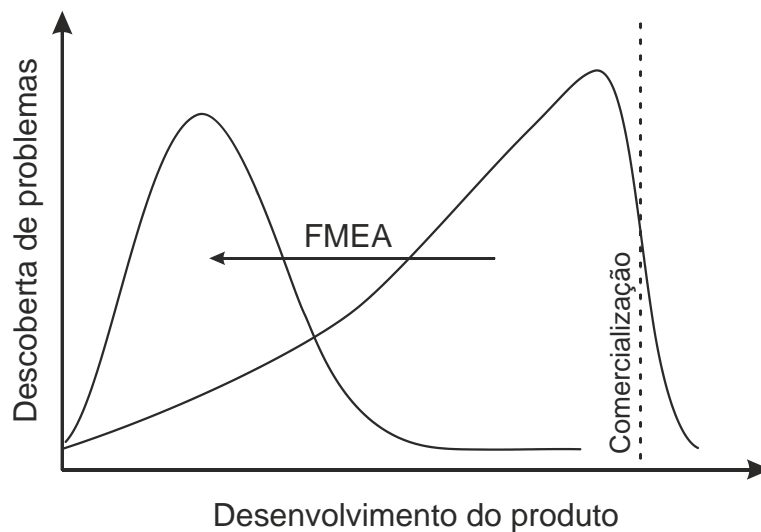


Figura 2.5-A análise FMEA permite uma descoberta da falha numa fase inicial de desenvolvimento do produto [12].

A análise FMEA foi primeiramente formalizada em 1949 pelas Forças Armadas Americanas através da introdução do procedimento militar US MIL-P 1629, intitulado “*Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*”, tendo como principal objetivo a classificação de falhas de acordo com o impacto causado por estas no sucesso da missão e na segurança tanto pessoal como dos equipamentos. A partir dos anos 1960s, a análise FMEA começou a sua expansão, ganhando destaque na indústria aeronáutica e automóvel [12].

Para elaborar esta metodologia é necessária a compreensão de quatro pré-requisitos base que servem de guia ao longo da realização de uma análise de risco:

- **Todos os problemas são diferentes e, todos eles apresentam níveis de importância díspares.** É necessário reconhecer o princípio de *Pareto* quando associado a uma metodologia FMEA, o qual descreve a importância dos pontos vitais num determinado sistema em comparação às trivialidades existentes em maior percentagem. A análise de risco permite identificar os problemas prioritários que causam instabilidade no processo.

- **Deve-se definir o cliente através do qual se baseará o estudo de falhas.** Tradicionalmente é reconhecido como o utilizador final, embora uma determinada fase de processo ou o processo em si, possam também ser vistos como cliente numa análise de risco. Por norma, numa FMEA de projeto, o cliente é analisado como sendo o utilizador final enquanto numa FMEA de processo, o cliente é visto como a operação subsequente num processo.

- **O principal propósito para a realização da análise deve ser conhecido por todos os participantes.** Caso não o seja, o tempo estabelecido para o efeito é perdido e é necessário redefinir o problema baseado em situações conhecidas.

## 2.Introdução

- **O desenvolvimento e otimização devem ser o foco para uma FMEA**, pois esta deve permanecer em constante atualização face às alterações provocadas no sistema, projeto ou serviço [13].

Toda a discrepância à funcionalidade esperada por um determinado equipamento ou sistema, é identificada e recolhida como informação essencial para o decorrer de uma análise de risco. Uma irregularidade é classificada consoante o seu índice de gravidade (S), de ocorrência (O) ou de possível não deteção da falha (D), dando origem ao seu número de risco (RPN), priorizando desta forma cada falha analisada [13]. Existem variadas escalas e níveis de escala para quantificar estes índices, podendo ser personalizados para a realidade do setor ou da organização. No caso de uma análise qualitativa, a categorização dos índices deve seguir o comportamento teórico de um componente específico. Contudo, quando se baseia a análise numa escala quantitativa, esta deve ser específica e advir de informação passada ou atual e, de dados de procedimentos de controlo do processo.

Implementar uma análise de risco carece de conhecimento das causas principais que originam cada falha, existindo técnicas complementares para fundamentar uma FMEA como um Brainstorming, o Diagrama de Afinidade, o Diagrama de Causa-e-Efeito, o Brainwriting 6-3-5 ou o Método Kepnor e Tregoe. No diagrama de Causa-e-Efeito, uma equipa ou sujeito individual possui a capacidade de apurar a fonte de uma determinada adversidade por meio de uma relação entre causas e subcausas de um defeito, apresentado graficamente. Por sua vez, um Brainstorming clássico tem por objetivo reunir o conhecimento e criatividade de todos os membros de uma equipa de trabalho, de forma a gerar múltiplas ideias através de um processo livre de criticismo e julgamentos e é, atualmente, o método mais aplicado nas indústrias [13]. Quando comparado com o Brainstorming clássico, um Brainwriting 6-3-5, cujo nome deriva da natureza do processo associado à metodologia (seis pessoas escrevem três ideias num espaço de tempo de cinco minutos), corresponde a uma técnica que proporciona, de forma mais consistente, uma sinergia entre as ideias dos vários membros da equipa, combinando a energia resultante de troca de ideias com a reflexão inerente aos processos escritos [14].

Abordagens numa análise de risco FMEA podem ser abrangentes ao nível do sistema global ou, basear-se nas particularidades do projeto em si. Na FMEA de sistema, o foco encontra-se nas funções e relações inerentes unicamente ao sistema como um todo enquanto na FMEA de projeto, tal como o nome indica, aborda a estética do componente e de interfaces adjacentes. Quando o ponto essencial a ser tido em conta é o fabrico e montagem de cada elemento, realiza-se uma FMEA de processo visando o aperfeiçoamento do processo de fabrico, garantindo que um certo produto final é construído/desenvolvido seguindo todos os requerimentos de projeto de forma segura e eficiente. A segmentação das principais variantes de uma análise modal de falhas e efeitos (FMEA) encontra-se representada na Figura 2.6.

## 2.Introdução

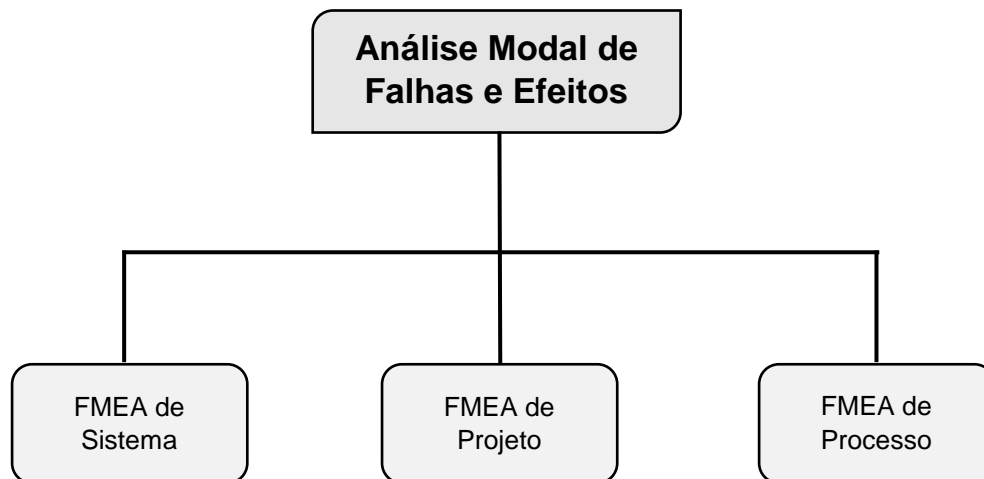


Figura 2.6-Tipos principais de análise FMEA [13].

Para uma análise de risco mais completa e confiável, certas empresas no setor fabril recorrem a técnicas que complementam um estudo FMEA, sendo exemplo:

- A metodologia de análise modal de falhas, efeitos e criticidade (FMECA), podendo ser de âmbito qualitativo ou quantitativo, análoga à FMEA com a particularidade de implementação de uma análise de criticidade formalizada e, a diferença entre padrões e escalas. Na análise de criticidade, sendo um procedimento objetivo, cada falha provável é cotada consoante o impacto da sua gravidade e índice de ocorrência, itens estes associados a um diferente número de criticidade.

- A sistemática de análise modal de falhas, mecanismos e efeitos (FMMEA) que ressalta o papel do método FMEA e FMECA, identificando os mecanismos com elevado nível de prioridade visando a criação de um plano de mitigação dos seus efeitos negativos.

- O método de análise modal de falhas, efeitos e diagnósticos (FMEDA) surge como extensão à análise FMEA, tendo um modo mais sistemático de identificação e avaliação dos efeitos de cada falha num componente. Um projeto FMEDA necessita de percentagens concisas e atuais de discrepâncias a um normal funcionamento de um componente para que se torne um método eficaz, tornando-o um método demorado em relação a uma análise FMEA.

- A análise de Árvore de Falhas (FTA), onde um acontecimento indesejável num sistema é analisado, aplicando o princípio da álgebra booleana de forma a ordenar séries de ocorrências de baixo impacto. Recorre-se a esta metodologia tendo em vista uma análise quantitativa que permita determinar a probabilidade de ocorrência de uma falha com elevado índice de gravidade e, desenvolver ações de mitigação ou eliminação da dita falha. Tendo, no decorrer de um estudo FMEA, um defeito com um nível de complexidade elevado e várias possíveis causas associadas a essa falha, uma FTA apresenta uma ferramenta visual

## 2.Introdução

vantajosa, exibindo graficamente o cenário completo de causas e a probabilidade de ocorrência de cada uma das possíveis falhas estudadas [12].

Quando o foco não se trata de uma alteração ou novos projetos, processos e/ou serviços é possível a realização de uma análise modal de falhas (FMA). Baseada em falhas conhecidas e informações de arquivo, tais como dados de processo e condições de campo, a FMA é muitas vezes utilizada em sistemas existentes.

### 2.3. Análise de Viabilidade

Num mundo globalizado, a concorrência empresarial obriga ao desenvolvimento das empresas, procurando inovação e otimização dos recursos existentes. Visando melhorar o seu desempenho é necessária a racionalização da utilização de valores monetários, aquando da sua aplicação em novos investimentos [15].

A decisão de investir num determinado projeto que pode envolver altos valores e um longo período de retorno dos capitais aplicados, torna a análise de investimento numa atividade de riscos potenciais para fornecedores de crédito. De forma a avaliar os possíveis níveis de risco provenientes da aplicação de capital ou concessão de crédito monetário para financiamento da execução do projeto, é necessária uma análise de viabilidade do empreendimento.

Um projeto de investimento pode ser conhecido como a implantação de um novo processo, a realocação do mesmo, modernização ou trabalhos de ampliação ou expansão da capacidade de linhas de produção. No geral, investimento significa a acumulação de possibilidades de produção que contribuem para a dinamização da atividade económica de uma empresa [16].

A decisão de investir é vista e analisada consoante a ótica utilizada:

- Na ótica do investidor aforrador, a decisão de investimento num processo produtivo assenta maioritariamente na remuneração que espera receber através da compra de ações ou fazendo depósitos a prazo. O investidor em fase alguma intervém diretamente no circuito económico.

- Na ótica empresarial, a decisão advém dos resultados da análise de viabilidade do projeto. Com base nesta análise é tomada a iniciativa da produção e a responsabilidade dos riscos associados ao empreendimento.

- Na ótica nacional e social, a decisão de investimento não se baseia unicamente na rentabilidade de um projeto, tendo influência dos múltiplos efeitos, diretos e indiretos, que o projeto em questão pode repercutir em determinados domínios da economia e da sociedade.

## **2.Introdução**

Na teoria da avaliação de projetos, a ótica dominante é a ótica empresarial ou de projeto. Neste caso, a questão do financiamento entra unicamente na análise do projeto via custo de oportunidade de capital, incorporado na taxa de atualização dos fluxos e os fluxos de financiamento são excluídos [17].

A avaliação de rentabilidade de um investimento deve considerar quatro elementos base e fundamentais para a decisão que advir. O primeiro representa obviamente o valor de investimento base despendido, seguindo-se os potenciais ganhos, equivalentes aos fluxos de caixa positivos. Também o valor terminal que determinará uma possível recuperação de capital e a vida económica do projeto são fatores a ter em conta [18].

Inicialmente, é necessário distinguir duas metodologias relativas a fluxos financeiros em clima de inflação. A avaliação de projetos pode ser realizada pelo sistema de preços correntes, no qual é possível assistir à variação anual nas quantidades e nos preços, incorporando a inflação prevista para o horizonte temporal do projeto ou, através do sistema de preços constantes, baseando os fluxos financeiros a preços de um ano padrão, demonstrando igual poder de compra, variando unicamente as quantidades [17].

Na incapacidade de prever taxas de inflação, torna-se favorável trabalhar com preços constantes e impede a introdução de elementos subjetivos no cálculo dos mesmos. Trabalhar não tendo em conta a evolução dos preços evita possíveis discrepâncias nos resultados, considerando as amortizações por via do valor de compra e não o valor ao longo do tempo de vida económica do projeto. Contudo, o recurso a preços correntes evita a distorção entre os valores previstos e a sua realidade, distorção esta que tende a aumentar consoante o crescimento da taxa de inflação [19].

O valor temporal do dinheiro integrado na avaliação de rentabilidade de um projeto permite a perceção do valor atual de um capital futuro, através de uma taxa de atualização ou desconto, também designada por custo de capital do investimento. Este custo de capital equivale à taxa de retorno requerida pelos investidores de capital num determinado investimento [20]. O cálculo desta taxa traduz um importante fator de decisão em projetos de investimento por incorporar na sua fórmula matemática um componente de remuneração temporal (sem risco) e, uma componente de prémio de risco que representará a compensação exigida pelo investidor para o remunerar pelo risco incorrido. Um maior risco associado a um projeto naturalmente implicará uma maior compensação exigida por parte do investidor, dando origem a uma taxa de atualização superior que, diminuirá o valor atual de uma unidade monetária a receber no futuro [21] .

Os ativos, tangíveis ou intangíveis, da empresa desvalorizam ao longo da sua vida económica, sofrendo o chamado efeito de depreciação ou amortização, respetivamente. Este efeito é deduzido ao longo da vida expectável do ativo através de cargas periódicas que reduzem os lucros líquidos do projeto. Contudo, ao contrário de outras despesas, esta amortização não interfere com os fluxos financeiros pois não representa uma despesa real face ao investimento. Esta amortização equivale a uma porção de capital que pode ser recuperado em qualquer período da vida útil de um ativo para possíveis reinvestimentos na substituição destes. As despesas de capital tendem a ser amortizadas ao

## **2.Introdução**

longo de cinco a dez anos, mas esse período pode-se estender até mais de duas décadas, no caso de imóveis. As Autoridades Tributárias de cada país definem os tempos de vida útil dos diferentes tipos de ativos e, conseqüentemente, as respetivas taxas de depreciação/amortização a utilizar em todos os sectores de atividade económica. Ao que se refere a maquinaria e equipamentos em geral é, comumente utilizada uma taxa de amortização/depreciação de 10% ao ano, enquanto para o caso de edifícios esta taxa tende a ser inferior, cerca de 3% do investimento inicial [22].

Um pedido de despesa de capital a um determinado investidor depende de estimativas estruturadas de custos relacionados com o projeto. As estimativas de material devem ser o mais precisas possível seguindo métodos específicos. A metodologia mais correta baseia-se em orçamentar estes custos através de propostas de fabricantes ou fornecedores, tendo por base a especificação do elemento. Usualmente, é possível que determinados fabricantes forneçam rápidas estimativas com discrepâncias ao valor real pouco significativas, consoante o tipo de trabalho/equipamento. Por impossibilidade de aplicar esta metodologia, é plausível o uso de custos passados, para um determinado elemento como estimativa para um valor presente.

Uma estimativa de custos pode ser realizada ao longo das várias etapas do desenvolvimento de um projeto e, conseqüentemente variar em termos de precisão. Na fase inicial de um projeto, é realizado o que se designa por estimativa de ordem de grandeza ou estimativa de rácios, baseada em dados históricos como aferição de custos. Por esta razão, apresenta uma gama superior a 30% de percentagem erro. Seguindo-se as estimativas tendo por base especificações de maior parte do equipamento necessário ao projeto com uma percentagem erro de cerca de 30%. Os estudos preliminares originam estimativas fundamentadas com informação suficiente para que seja possível um pedido de investimento, daí serem também reconhecidas por estimativas para aprovação de capital. Estes estudos apresentam erro inferior a 30% nas precisões de custos. Após a etapa de pedido de despesa de capital, é iniciado um controlo de custos do projeto onde as estimativas iniciais são revistas, podendo ou não ser substituídas por estimativas mais precisas, as chamadas estimativas definitivas. Contudo, esta fase é prévia à finalização de todos os desenhos e especificações pelo que pode sofrer alterações no decorrer do projeto, apresentando ainda uma gama de 10% de possível erro. Completando o desenvolvimento do projeto, elabora-se uma estimativa detalhada, a estimativa do empreiteiro. A estimativa final é fundamentada com base nos desenhos completos de engenharia e especificações, com uma precisão inegavelmente superior às restantes estimativas (cerca de 5% de dispersão em relação ao valor real) (Figura 2.7) [22].

## 2.Introdução

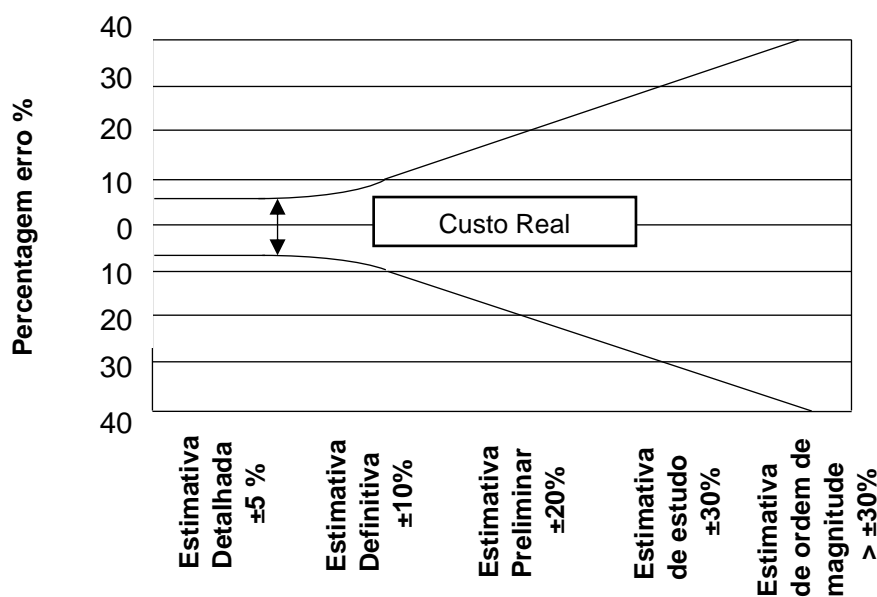


Figura 2.7-Etapas da estimativa de custos [22].

Um pedido de investimento, caracterizado na Figura 2.7, como o global das estimativas de ordem de magnitude, de estudo e preliminar, não requer um detalhe rigoroso embora apresente particular importância para uma análise de rentabilidade do projeto. Como tal, é conveniente o englobar de uma determinada percentagem adicional ao investimento base, de forma a compensar possíveis erros nas estimativas, bem como alterações ao âmbito ou eventualidades não previstas inicialmente. Este excedente é visto como a contingência do projeto e, pode ser interpretada como sendo de processo ou projeto, estando a primeira fortemente relacionada com a falta de dados históricos, nos quais se possa basear o conhecimento do processo. Percentagens comumente utilizadas como contingência de projetos de investimento variam entre 5 a 15% dos custos, sendo 8% considerada uma média razoável.

Quem decide investir necessita de ferramentas úteis para prever a rentabilidade do projeto proposto, bem como o risco associado ao mesmo. A distinção e classificação das técnicas de avaliação de projetos insere-se entre duas categorias, sendo o período de recuperação de capital (PRC) e a taxa de rentabilidade contabilística (TRC) ou do lucro, baseados no tempo e, métodos como o valor atualizado líquido (VAL) e a taxa interna de rentabilidade (TIR) que se baseiam nos fluxos financeiros descontados [23]. Contudo, é consensual em termos financeiros e na prática da maioria das empresas a preferência pela adoção, na avaliação e seleção de projetos, de critérios baseados nos fluxos de caixa descontados tendo em conta o valor temporal do dinheiro, ao invés de critérios contabilísticos que não contemplem o custo de capital, diga-se o PRC e o TRC [17].



## 2.Introdução

### 2.3.1. Período de Recuperação de Capital (PRC)

O tempo necessário que decorre entre o iniciar de um projeto e o liquidar do investimento inicial é reconhecido como o período de recuperação de capital. Quando atualizado permite uma perceção mais aproximada da realidade, contudo e, apesar de ter em consideração o valor temporal do dinheiro, perpassa os fluxos financeiros posterior à recuperação do investimento. Esta falha no método torna-se significativa quando comparando dois projetos com períodos de recuperação de capital distintos. Existe a possibilidade de um projeto apresentar um maior PRC face aos demais, contudo demonstrando uma rentabilidade superior após o período de recuperação, ao registar fluxos financeiros mais elevados. Como exemplo deste defeito no método encontram-se os projetos com períodos de arranque alongados. Dito isto, trata-se de uma metodologia consideravelmente desaconselhada aquando da análise de viabilidade de projetos de longa duração.

De referir ainda a impossibilidade de aplicação do método em projetos nos quais o investimento se encontra distribuído ao longo de diferentes períodos e, a não distinção de projetos com diferente dimensão de custo de investimento [17]. No entanto este indicador de rentabilidade é um critério útil para avaliar projetos com vida económica relativamente curta, sendo muitas vezes utilizado em pequenas alterações de otimização em plantas industriais [24].

### 2.3.2. Índice de Rentabilidade (IR)

Apresentando-se como uma variante do método do valor atualizado líquido (VAL), o índice de rentabilidade relaciona os fluxos financeiros em termos de quociente (em vez de diferencial, como é apresentado o VAL). Em projetos independentes, ambos os critérios conduzem à mesma decisão. Isto é, um  $IR > 1$  indica a aceitação do projeto e equivale a um  $VAL > 0$ .

Através da sua fórmula (Equação 2.2), é possível a compreensão do valor atual do projeto, por cada valor investido.

$$IR = \frac{\text{Valor Atual dos Fluxos de Exploração}}{\text{Valor Atual dos Custos de Investimento}} \quad (2.2)$$

É frequente o uso deste critério comparativamente ao valor atualizado líquido em situações de restrição de capital. Tal ocorre, pois apesar do elevado valor de VAL, um projeto pode depender de um investimento demasiado elevado para ser passível de suportar pela empresa. Não existindo esta restrição, é recomendável o uso do valor atualizado líquido (VAL) como critério de viabilidade de um projeto em detrimento ao índice de rentabilidade, dado que o VAL indica o valor acrescentado para a empresa, em termos absolutos [17].

## **2.Introdução**

### **2.3.3. Valor Atualizado Líquido (VAL)**

Em termos económicos, o critério globalmente aceite para análise de projetos de investimento, entendido como indicador de um possível enriquecimento por parte do investidor do projeto após reposição e remuneração (ao custo de capital) do custo do investimento, trata-se do valor atualizado líquido [18].

Como interpretação básica do método, quanto maior for o valor de VAL, maior é a potencialidade de sucesso e rentabilidade de um projeto para um investidor. Variando o custo de capital para valores superiores ao padrão utilizado e mantendo inalteráveis os restantes fatores, o valor atualizado líquido tende naturalmente a decrescer, sendo um indicador bastante sensível a esta taxa, podendo o investimento ser apresentado como viável ou não por uma simples manipulação da mesma.

Importante referir que este critério permite ainda ao promotor do investimento analisar a possível margem para derrapagens no custo final do mesmo, não correndo o risco de inviabilizar o negócio. Contudo, tal como outras metodologias existentes, é insuficiente a sua utilização individual como decisão da atratividade de um projeto [17].

### **2.3.4. Taxa Interna de Rentabilidade (TIR)**

Simplificando, a rentabilidade intrínseca do capital investido representa a única taxa de desconto que, quando aplicada aos fluxos financeiros ao longo da vida económica de um investimento, concede ao valor atualizado líquido um valor nulo, ou seja, os fluxos de caixa positivos igualam os negativos. Pela facilidade de comparação com a taxa de retorno padrão, utilizada como taxa de desconto para os fluxos financeiros, apresenta-se como um critério atrativo em análises de viabilidade de investimentos, expressando-se ambas em termos percentuais.

Porém, este indicador de viabilidade, através da comparação com o custo de capital do investimento, apresenta fortes lacunas na sua conceção, podendo levar ao desvio acentuado das decisões finais em relação à realidade. Através deste método é possível supor a remuneração dos fluxos financeiros positivos e o financiamento dos valores negativos, à própria taxa interna de rentabilidade, o que possivelmente induz a percepções irreais do investimento. Unicamente num fluxo de dois pontos distintos (todo o investimento ocorre na data zero e toda a receita se encontra concentrada no período  $n$ ), a taxa interna de retorno representa um método exato de análise de retorno do investimento [25].

Em projetos independentes, o valor atualizado líquido (VAL) e o TIR tendem a conduzir à mesma decisão de viabilidade, caso a taxa de referência da TIR seja a taxa de desconto utilizada para o cálculo do VAL. Na eventualidade destes indicadores divergirem na avaliação do investimento, é preferível basear a decisão no valor atualizado líquido por este lidar com valores absolutos e não percentuais como a TIR, refletindo os objetivos de maximização do valor da empresa [17].

## **2.Introdução**

### **2.3.5. Taxa Interna de Rentabilidade Modificada (TIRM)**

Numa tentativa de correção das falhas apresentadas na conceção da taxa interna de rentabilidade (TIR), antecipando para a data inicial os desembolsos intermediários e levando para a data final do projeto os recebimentos também eles intermédios, surge a taxa interna de rentabilidade modificada. Para tal, é necessária uma taxa de investimento que transforme os fluxos financeiros positivos em valores terminais e uma taxa de financiamento que antecipe a valor presente os fluxos negativos.

A diferença entre ambos os métodos, é intensificada na distinção entre a taxa interna de rentabilidade e as taxas de mercado de investimento e financiamento, bem como na quantidade e intensidade de fluxos intermédios que um determinado investimento apresenta.

Por sua vez, também este indicador apresenta a sua falha em relação a fluxos não convencionais que apresentem múltiplas taxas internas, sendo ilógico do ponto de vista financeiro, definir uma qualquer taxa de retorno.

### **2.3.6. Análise de Sensibilidade**

Os pressupostos nos quais se baseia uma decisão de investimento estão suscetíveis a incertezas e riscos associados ao projeto. O risco decorrente da implementação de um novo projeto é contemplado na taxa de desconto com que os fluxos de caixa são atualizados contudo, determinadas incertezas são imprevisíveis e é possível a sua antecipação via uma análise de sensibilidade às variáveis previstas [26].

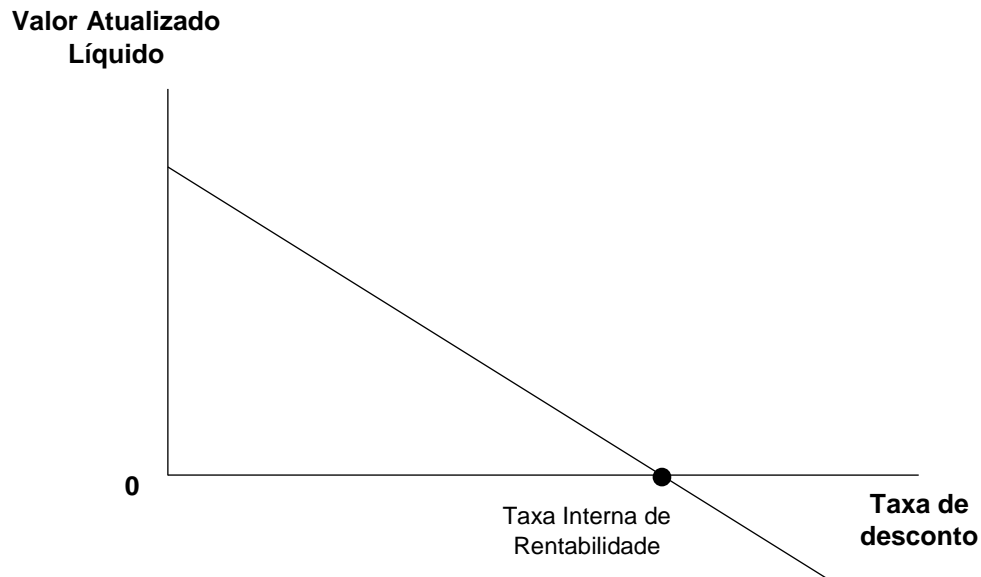
Tendo como padrão o cálculo dos indicadores de viabilidade do projeto e, através da manipulação percentual, positiva ou negativa, de variáveis definidas do investimento é possível reconhecer a incerteza associada à análise de viabilidade efetuada. Esta análise de sensibilidade ao projeto permite compreender a intensidade do impacto da variação de determinadas variáveis, na viabilidade do investimento [19].

Toda a análise de sensibilidade se baseia numa análise de possibilidades de ocorrência, não sendo possível quantificar a sua probabilidade. No entanto, diz respeito a um recurso vantajoso na avaliação dos riscos e ameaças que podem afetar a viabilidade do projeto futuramente.

No que se refere ao impacto no valor atualizado líquido (VAL), variações na taxa de desconto (i) originam inclinações distintas da curva de perfil (Figura 2.8), indicando a maior ou menor sensibilidade deste indicador a alterações efetuadas na taxa. Este efeito está relacionado com o padrão dos fluxos de caixa uma vez que o valor atualizado líquido de projetos cujos fluxos de caixa ocorrem

## 2.Introdução

mais cedo, característica de projetos de curto prazo, apresenta menor sensibilidade a alterações na taxa de atualização [17].



*Figura 2.8-Perfil do valor atualizado líquido de um projeto convencional [17].*

A taxa interna de rentabilidade (TIR) do projeto que, iguala o valor atualizado líquido a um valor nulo permite retratar o diferenciar de dois fluxos do VAL distintos, posteriormente à intersecção com o eixo das abcissas apresenta um perfil negativo e decrescente, enquanto à esquerda do ponto B, o VAL representa um perfil oposto.

## 2.4. Diagrama de Processo

Um diagrama de processo, quando realizado com o detalhe requerido, permite de forma gráfica, a interpretação mecânica das necessidades químicas envolvidas no processo, identificando por ordem de acontecimentos, cada uma das operações.

A conceção de um diagrama de processo varia consoante a fase de desenvolvimento do projeto no qual este diagrama se insere. Num estudo preliminar, onde não é necessário detalhar o processo, é usualmente utilizado um diagrama de blocos para perceção de um novo conceito processual. No entanto, através da progressão no estudo de um projeto, é conveniente a minuciosidade dos diagramas, originando dois dos mais importantes aquando da elaboração de um novo processo, o “*Process Flowsheet Diagram*” (PFD) e o “*Piping and Instrumentation Diagram*” (P&ID). Podendo, o último apresentar detalhes do processo, tornando-se num diagrama mais completo que o PFD e o P&ID, quando utilizados em separado.

## 2.Introdução

Para além dos diagramas referidos anteriormente, é possível a objetivação destes diagramas consoante o âmbito no qual serão aplicados, resultando em diagramas de utilidades do processo, ou de elétrica [27].

Um diagrama como o “*Process Flowsheet Diagram*” é comumente aplicado a fim de apresentar os balanços mássicos e energéticos do processo, normalmente incluindo as utilidades necessárias ao processo, as condições presentes em cada tubagem e equipamento bem como, a sua disposição e interligação. Por sua vez, o “*Piping and Instrumentation Diagram*” também designado por “*Mechanical Flow Diagram*”, baseia-se no PFD e permite o detalhar da mecânica envolvida no sistema, nomeadamente tubagens, equipamentos e instrumentação, tendo em conta o dimensionamento dos mesmos. Englobando neste diagrama as condições processuais do sistema, é desenvolvido um diagrama completo e que retrata de forma precisa o processo em questão, servindo como base de trabalho para a equipa responsável pelo desenvolvimento do novo projeto.

Presentes num P&ID, as válvulas mais recorrentes num processo químico encontram-se divididas em duas classes consoante a sua função, podendo ser manuais ou integradas num ciclo de controlo. A primeira, tendo como objetivo a obstrução total ou parcial de uma tubagem, é usualmente levada a cabo por válvulas do tipo globo, de cunha ou macho esférico. Por vezes são implementados fins-de-curso neste tipo de válvulas, por forma a transmitir a um controlador o sinal de fecho ou abertura de válvula. Enquanto, para regular o caudal, é necessário recorrer a válvulas de controlo [24].

A alternativa mais económica para bloquear uma tubagem são as válvulas de macho esférico, nas quais uma esfera metálica com uma depressão no centro permite ou não a passagem do caudal. Contrariamente a outro tipo de válvulas com as mesmas características, a conceção física deste tipo de válvula permite uma atenuação na queda de pressão quando esta se encontra na sua posição totalmente aberta, o que não era obtido através do volante utilizado nas restantes válvulas (Figura 2.9).

Uma válvula de macho esférico pode ainda apresentar-se como de 3 vias, dependendo do objetivo da sua utilização, com uma configuração em L ou em T (Figura 2.10).

## 2.Introdução



Figura 2.9-Válvula de Macho Esférico [28].

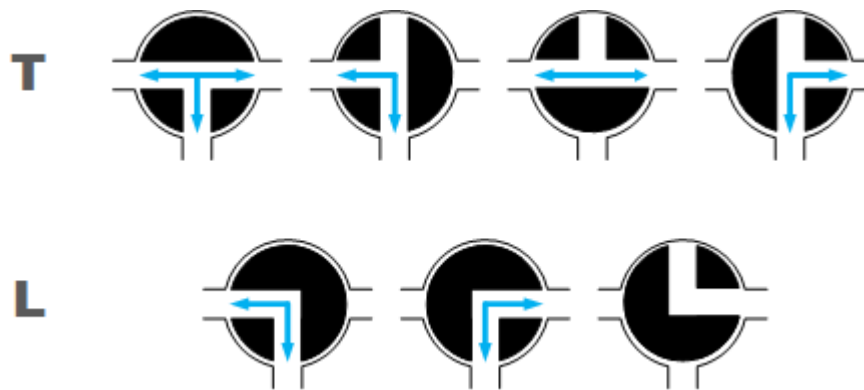


Figura 2.10-Configurações em T/L de uma válvula de macho esférico [28].

Um ciclo de controlo inicia-se no sensor, normalmente designado por transmissor ou transdutor, que envia o valor da variável medida a um controlador. Por sua vez, o controlador, ao receber essa entrada do transmissor e um “set-point” do sistema, reencaminha um valor de saída ao atuador (elemento final de controlo). Este elemento final de controlo engloba o sistema de ar de instrumentos, o conversor I/P, a válvula e o respetivo atuador [29]. O mais comum elemento final de controlo é a válvula de controlo com atuador pneumático. Dependendo do seu obturador, a válvula de controlo pode apresentar-se de diversos tipos sendo os mais conhecidos, a válvula globo e borboleta (frequentemente utilizadas no controlo de correntes gasosas ou de vapor), representadas na Figura 2.11.

## 2.Introdução

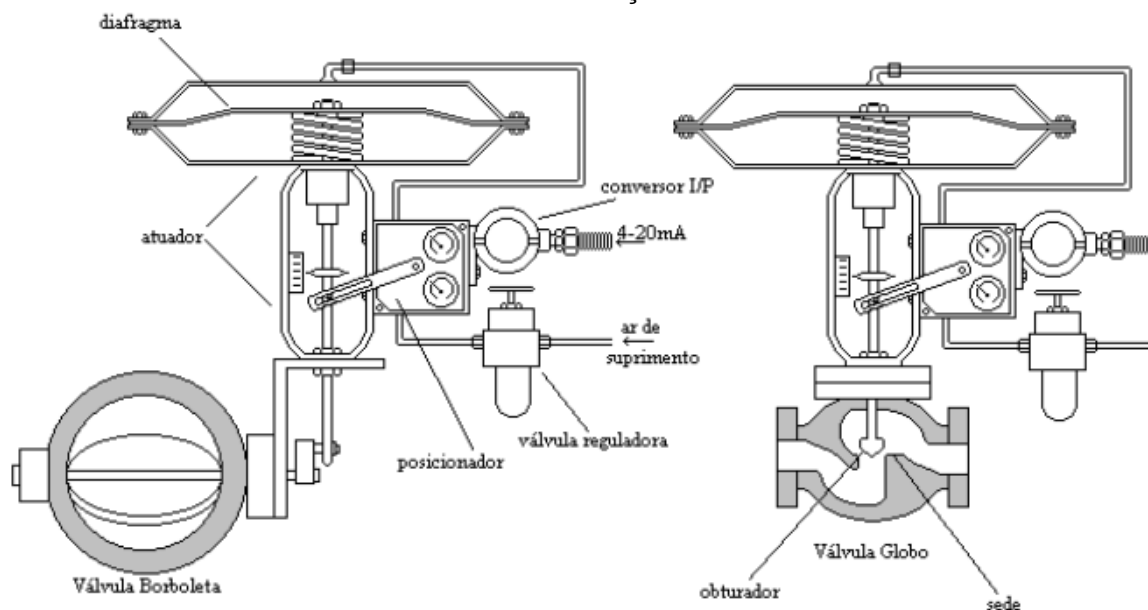


Figura 2.11-Válvula de Controlo Borboleta (à esquerda) e Globo (à direita) [30].

A atuação de uma válvula de controlo baseia-se na posição do obturador em relação à sede, restringindo a passagem do fluido e, pode ser de forma pneumática ou elétrica.

Dois tipos de controladores são normalmente utilizados nas indústrias químicas, o “*Distributed Control System*” (DCS) e os controladores lógicos programáveis, ou “*Programmable Logic Controllers*” (PLC). Inicialmente, o PLC representava propósitos específicos para o controlo de sistemas com entradas e saídas binárias, usando-se o DCS para monitorização das restantes condições do sistema e ciclos de controlo. Contudo, com o desenvolvimento dos controladores lógicos programáveis, a diferença entre estes controladores encontra-se atenuada, sendo os PLC os controladores mais difundidos atualmente para controlo automático de sistemas devido à flexibilidade da sua programação, que lhes permite ser aplicado em qualquer tipo de processo distinto e, a diminuição de falhas com um menor custo de instalação e manutenção [29,30].

Estes controladores, presentes numa sala de controlo, são responsáveis por receber, manipular e enviar valores relativos a uma determinada condição do processo. No entanto, grande parte da instrumentação concentra-se no controlo de quatro variáveis específicas: temperatura, pressão, nível e caudal.

### 2.4.1. Pressão

Instrumentos para medição e indicação da pressão designam-se por manómetros, sendo os mais simples os manómetros de coluna líquida e, os mais utilizados na indústria, os manómetros de

## 2.Introdução

*Bourdon*. A conceção do manómetro de *Bourdon* baseia-se um tubo curvado, no qual uma das extremidades se encontra obstruída e a outra conectada à tubagem para ligação à pressão que se pretende medir. A pressão interna provoca a tendência de retificação da curva, dando origem a um movimento da extremidade fechada, na qual pode estar associado um ponteiro indicador.

Para uma medição correta da pressão, é necessário colocar o manómetro perpendicular à parede da tubagem e rente à superfície, superando assim a possível influência da velocidade do fluido (Figura 2.12).

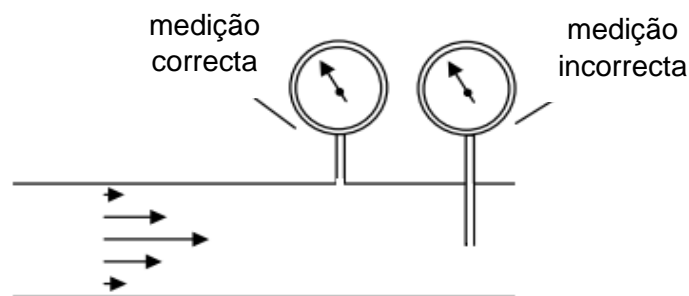


Figura 2.12-Medição de pressão numa tubagem [30].

Por sua vez, a medição através de transmissores de pressão baseia-se, em geral, na utilização de células capacitivas sendo, ainda possível, o recurso a sensores piezoelétricos. Os transmissores de pressão são frequentemente usados em medições de nível e caudal.

### 2.4.2. Temperatura

Diferindo no princípio aplicado, é possível realizar uma medição da temperatura através de termopares baseados na descoberta de *Seebeck* ou termómetros de resistência cujo princípio se baseia no facto da maioria dos materiais variarem a sua resistência elétrica com a temperatura. As principais vantagens dos termómetros de resistência são a sua estabilidade, alta precisão na medição e possível aplicação em temperaturas baixas.

### 2.4.3. Nível

Para uma indicação direta do nível de um determinado reservatório instala-se um visor de nível na parte exterior do equipamento, cuja medição ocorre normalmente através de um flutuador que, estando preso a um contrapeso, o move ao longo de uma escala graduada ou via vasos comunicantes acoplados à base do reservatório, permitindo visualizar a posição da superfície do líquido. Contudo,



## 2.Introdução

para sistemas de controlo de nível torna-se fundamental o uso de transmissores de pressão diferencial, nos quais se utiliza a pressão exercida pela altura da coluna líquida para indiretamente se obter o nível de um determinado reservatório. Para que o valor recebido seja o real é necessário que a densidade do líquido seja conhecida e não oscile substancialmente no processo. Na Figura 2.13 é apresentado um transmissor de pressão adequado à medição de nível com flange e diafragma especial.

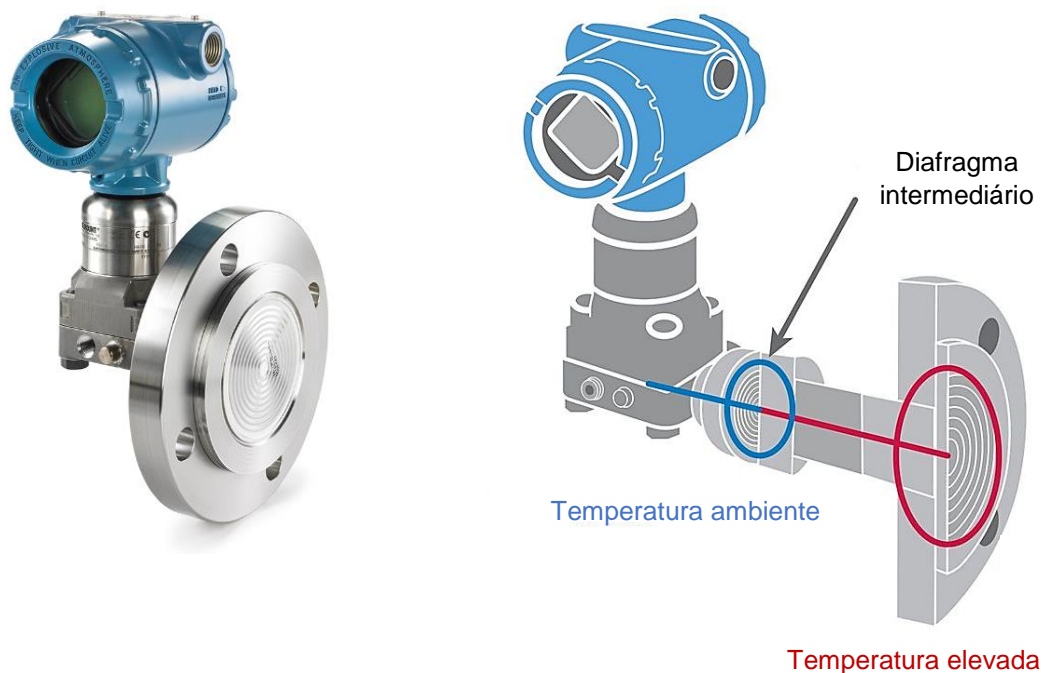


Figura 2.13-Transmissor de pressão diferencial para medição de nível [31].

### 2.4.4. Caudal

Devido à dificuldade em descrever os padrões associados às variações de caudal, a medição desta variável apresenta-se como a mais difícil de alcançar a precisão.

Uma prática comum é recorrer a elementos designados por deprimogénitos (geradores de pressão diferencial) neste tipo de medições. Através destes elementos é inserida na tubagem uma determinada restrição ao caudal, diminuindo o diâmetro de passagem. O caudal, por acumulação na fase anterior à restrição, apresenta um ligeiro acréscimo de pressão, variando significativamente após a passagem pelo orifício onde, a queda de pressão acentuada compensa o excessivo aumento de velocidade do caudal (Figura 2.14). Esta queda de pressão sofrida pode ser relacionada matematicamente com o caudal de escoamento, medindo a pressão diferencial entre um ponto imediatamente a montante da restrição e outro a jusante da mesma. Exemplo deste tipo de elementos são as placas de orifício calibrado e o tubo de *Venturi*.

## 2.Introdução

Uma placa de orifício, consoante a sua forma e localização da perfuração, pode ser apresentada como sendo concêntrica, excêntrica ou segmentada. Trata-se do elemento mais económico e simples para medição de caudal devido à sua simplicidade e robustez [32]. Por sua vez, o tubo de *Venturi* clássico foi desenvolvido especialmente para aplicações industriais em tubagens de grande diâmetro e, por se tratar de uma restrição menos acentuada e sem bordas vivas no estrangulamento da tubagem, não é afetado pela presença de sólidos no fluido (Figura 2.15). Permite uma medição mais exata que a placa de orifício, contudo menos económica, sendo um elemento mais difícil de instalar.

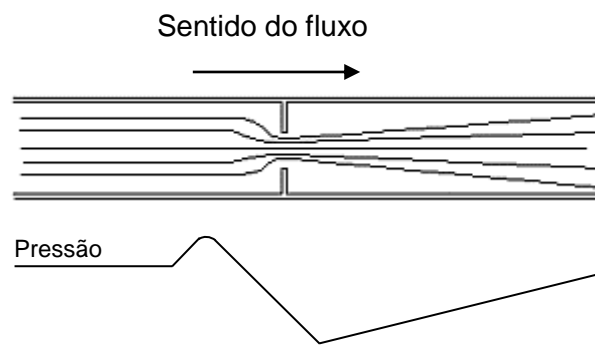


Figura 2.14-Representação da variação de pressão numa placa de orifício [30].

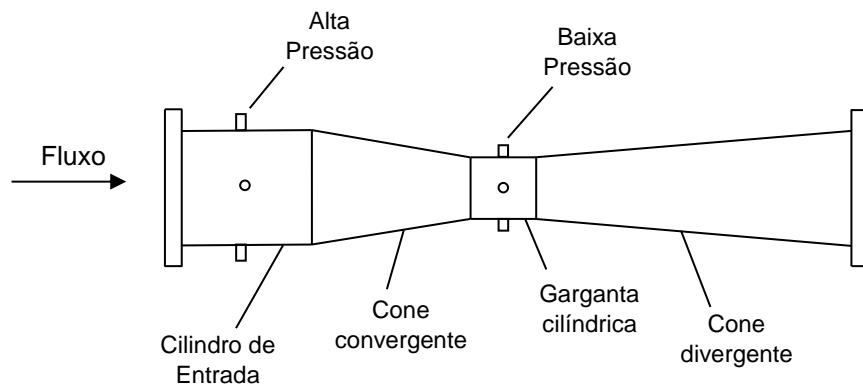


Figura 2.15-Representação do tubo de Venturi [30].

Em determinados processos é necessária a utilização de medidores de área variável, nos quais a principal diferença para com os medidores de pressão diferencial reside em manter constante esta pressão, variando a abertura do orifício. Trata-se de elementos bastante úteis para medições de caudais relativamente pequenos e encontram-se divididos em três tipos distintos: os rotâmetros, medidores de orifício e tampão cónico e, medidores de pistão.

O princípio de funcionamento de um rotâmetro baseia-se num tubo tronco-cónico dentro do qual se move um flutuador, sendo a altura deste flutuador uma indicação direta do caudal (Figura 2.16).

## 2.Introdução

O tipo de fluído influencia o material do flutuador, uma vez que este material deve apresentar uma elevada resistência à corrosão.

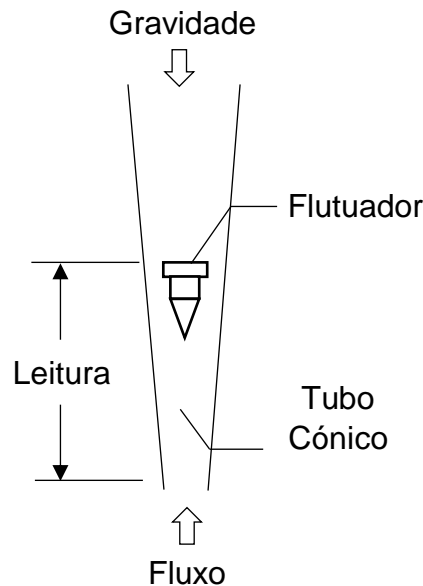


Figura 2.16-Rotâmetro.

Em situações específicas de medição em massa, é possível utilizar medidores mássicos ou de *Coriolis*, nos quais é provocada uma vibração num tubo curvado, através de magnetos. A monitorização dessas oscilações por sensores de posição permite determinar o caudal, através da proporcionalidade entre o ângulo de fase desses sinais e o caudal em unidade de massa por unidade de tempo. A principal desvantagem destes equipamentos é o custo e a inviabilidade de aplicação em tubagens de diâmetro considerável.

O diagrama de processo ilustra os ciclos de controlo e, tal como referido anteriormente, os equipamentos que podem ou não interferir nesses ciclos. Um dos equipamentos com maior influência no escoamento do caudal são as bombas, alterando-se o “*set-point*” do variador de frequência (VSD), acoplado ao motor da bomba. As bombas são geralmente classificadas e distinguidas através de dois tipos: bombas dinâmicas e de deslocamento positivo.

As bombas centrífugas são exemplo de bombas dinâmicas, nas quais é continuamente alimentada energia por forma a aumentar a velocidade do fluído no interior da bomba, garantindo que esta atinja valores superiores aos obtidos na descarga da bomba, produzindo assim um aumento de pressão. Por sua vez e, tendo como exemplo, a bomba diafragma, as bombas de deslocamento positivo são alimentadas por pulsos periódicos de energia via a aplicação de uma força. Essa força implica um aumento direto na pressão perfazendo o valor requerido. É possível subdividir a categoria de bombas de deslocamento positivo em rotativas ou alternativas [33].

## 2.Introdução

Uma bomba peristáltica (Figura 2.17) funciona em regime de deslocamento positivo inserindo-se na categoria de bombas rotativas e, trata-se da tecnologia com maior crescimento no mercado. O seu funcionamento baseia-se no princípio da “*peristalsis*” que, corresponde a alternar entre movimentos de contração e relaxamento de um músculo envolto num tubo, tal como ocorre na fisionomia humana. Esta ação alternada induz o fluxo para o interior do tubo. Desta forma, o fluído é conduzido para a descarga da bomba à medida que as roldanas acopladas ao motor se deslocam. A principal vantagem deste tipo de bombas reside no facto de que o fluído contacta unicamente com a mangueira ou elemento utilizado como tubo, tratando-se este de um elastómero cuja conceção é específica de forma a contrabalançar as capacidades mecânicas de uma bomba e a sua resistência ao fluído, de baixo custo e sem necessidade de manutenção [34].



*Figura 2.17-Exemplo de uma bomba peristáltica [34].*

### 3. Metodologia

O desenvolvimento de um novo projeto desde a análise inicial do seu conceito à realidade lucrativa do sistema envolve um complexo conjunto de fases ordenadas temporalmente. Como medida de controlo do planeamento do projeto, existe um cronograma no qual são editadas as datas previstas para o início e completção de um determinado trabalho/ação e através do qual se estabelece uma linha crítica de duração e término para a conversão da máquina (Figura 3.1).

Todo o estudo se inicia na chamada fase de preparação e desenvolvimento, na qual se realiza uma etapa de conceção da ideia inicial [22] (no caso da conversão da máquina de “*spinning*” número 2, a otimização do conceito existente atualmente nas restantes máquinas de tingimento) por via de uma reunião onde se define a ideia base do projeto, seguindo-se uma análise de risco associada ao mesmo. Tendo como resultado da análise de risco uma variedade de ações de mitigação de potenciais falhas no sistema e, objetivando a sua otimização, elabora-se uma revisão ao documento base para o projeto, para que contemple as informações e alterações provenientes da reunião inicial, do levantamento de materiais existentes e reaproveitáveis e de uma análise modal de falhas e efeitos (FMEA). Neste documento, designado na Fisipe por engenharia básica, encontram-se os dados e especificações necessárias à implementação do novo sistema.

Segue-se o cálculo de estimativas de custos das diferentes áreas envolvidas no projeto, com o propósito de pedido de investimento. Tendo por base o valor de capital requerido, é realizada uma análise de viabilidade ao projeto, à qual decorre o período de decisão de investimento por parte da empresa. Aprovado o investimento contemplando unicamente listas de materiais, referidas como MTO's (“*Material Take Off*”), são necessários desenhos de construção e disposição de equipamentos no espaço, bem como a conceção de um diagrama de processo (P&ID), de modo a que seja possível a criação de isométricas para fabrico das tubagens.

Previamente ao período de construção do projeto, correspondente à desmontagem dos materiais provenientes da máquina 9 e reaproveitáveis na máquina 2 e, à montagem destes e dos novos materiais, é necessário um período de requisições de consulta e compra e de adjudicação de trabalhos a realizar na fase de implementação do sistema.

O planeamento realizado para a etapa de conversão da máquina 2 envolve a coordenação entre diversas áreas, nomeadamente de instrumentação e elétrica e mecânica para montagem de equipamentos e tubagens, devido à escassez de espaço para o trabalho. Para tal, foi realizada primeiramente a extração dos instrumentos e equipamentos reutilizados na máquina 2, da máquina onde se encontravam, sucedendo-se os trabalhos de instalação mecânica dos equipamentos necessários ao funcionamento do processo e posteriormente das tubagens. Durante o acoplamento das tubagens anexam-se as válvulas e restante instrumentação dependente das linhas de processo. Por último faz-se a passagem de cabos e respetiva conexão aos instrumentos, bem como a programação dos sistemas WinCC e Cireco, Sistemas de Supervisão e Aquisição de dados da

### 3. Metodologia

Siemens® e Cireco®, respetivamente, na máquina, para que se iniciem os testes de cor e funcionamento da mesma, ao longo da etapa de pré-comissionamento.

Assegurando o funcionamento do sistema de acordo com os requisitos operacionais estabelecidos pela Fisipe, a implementação do sistema de tingimento na máquina 2 considera-se concluída a nível processual, terminando o projeto com a criação de cadernos de máquinas, por forma a documentar o trabalho realizado e o agrupamento de toda a informação referente ao seu desenvolvimento.

#### 3.1. Análise Modal de Falhas e Efeitos (FMEA)

No âmbito da implementação do sistema de tingimento por utilização de corantes numa nova máquina de “*spinning*”, executou-se uma análise de riscos associados ao sistema por meio de uma metodologia modal de falhas e efeitos (FMEA) no período inicial do projeto, tendo por base o historial conhecido de falhas recorrentes no sistema de tingimento com recurso a corantes catiónicos, ocorridas até então nas restantes máquinas em funcionamento.

Importante salientar que se trata de um método quantitativo e, como tal, aplica-se com o intuito de obter uma avaliação o mais precisa possível na identificação de irregularidades potencialmente prejudiciais para o produto final, sendo este a fibra tinta L25 [35]. Este método pode e deve ser utilizado face a qualquer problema numa determinada organização devido à sua simplicidade e metodologia inovadora, individualmente ou em conjunto com outras metodologias de maneira a facilitar a identificação ou possível remoção de anomalias.

Aquando da realização do estudo FMEA, uma equipa composta por dez pessoas, independentes, multifuncionais e possuidoras de conhecimento benéfico em áreas específicas do projeto é reunida com o intuito de priorizar as oportunidades de aperfeiçoamento do processo existente nas restantes máquinas de “*gel-dyeing*”. Através de dados antecedentes e de diagramas de causa-e-efeito, é formada uma tabela de falhas, na qual se analisa individualmente cada uma das potenciais anomalias.

Por meio de um Brainstorming clássico a equipa discute as ideias geradas, tentando chegar a consenso acerca das ideias-chave e quais as ações consequentes. Como cliente é estabelecido o utilizador final, ou seja, os próprios clientes da Fisipe.

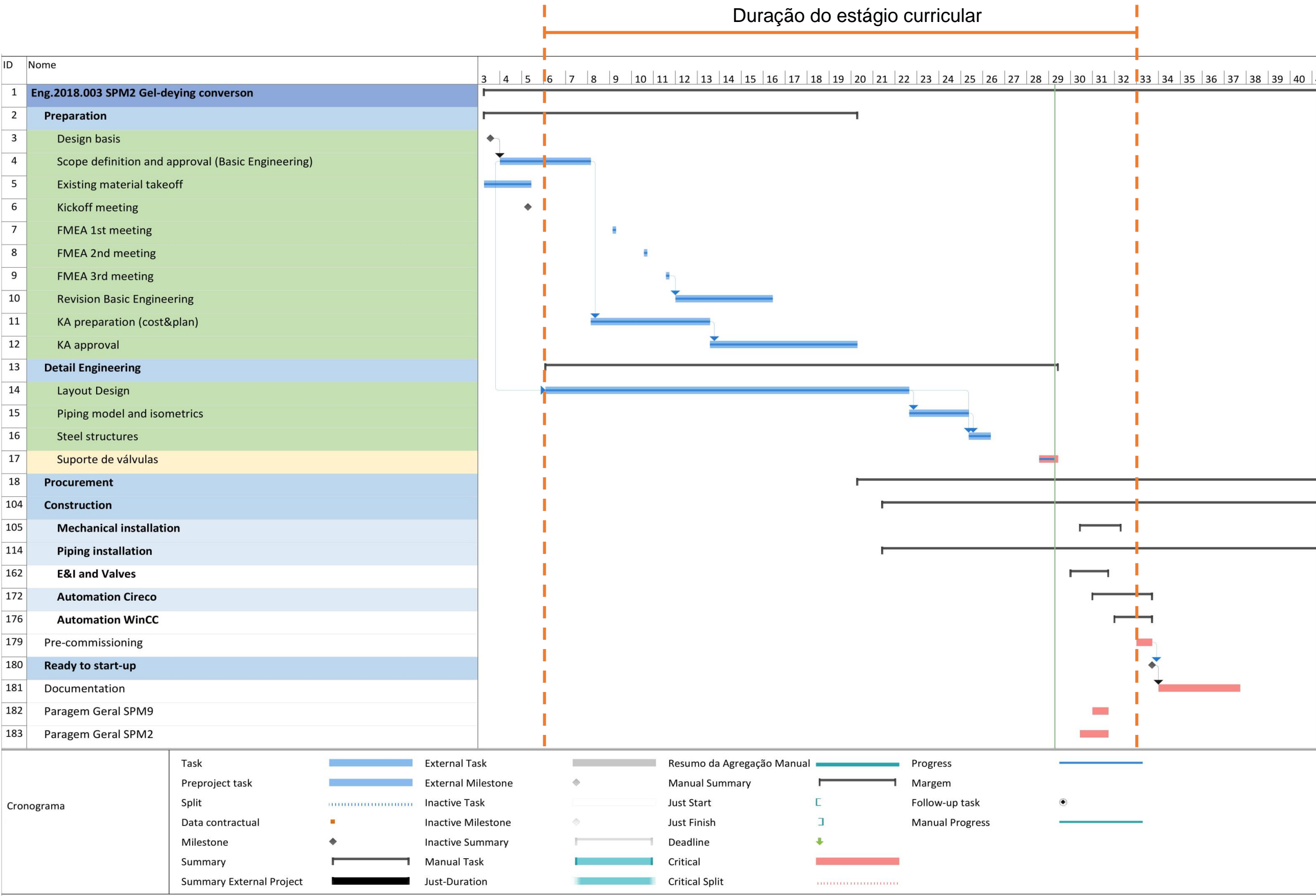


Figura 3. 1-Cronograma do projeto.

### 3. Metodologia

Estabelecidas as potenciais falhas no projeto, cada um dos três índices de gravidade, ocorrência e não deteção é qualificado de forma estruturada e ponderada numa escala linear entre 1 e 10. A caracterização dos índices utilizados nesta análise são apresentados no “Anexo I – Caracterização dos índices da análise FMEA em vigor na Fisipe”, através das Tabelas I.1, I.2 e I.3.

A multiplicação dos valores atribuídos aos índices, por forma a originar o Número de Priorização do Risco (NPR), permite ampliar as diferenças entre os resultados obtidos, facilitando a análise crítica aos mesmos. Seguindo um grau de certeza para o projeto em causa de 88,5% e, sabendo que o valor máximo que o número de priorização do risco pode apresentar é 1000 (tendo cada um dos três índices um valor de 10 e multiplicando-os), um NPR superior a 115, inclusive, diz respeito a uma falha com risco elevado e é fundamental proceder a uma ação de mitigação ou prevenção da mesma [9].

A análise presente no “Anexo II – Análise FMEA” permite a divisão do sistema em catorze (14) processos interligados e potencialmente dependentes entre si, sendo eles: a existência de alimentação de corante à cuba de tingimento (designada por cuba TMD); caudal correto de alimentação de corante; existência de caudal de alimentação de Astragal (retardador) e o seu valor correto; a recirculação operacional da cuba TMD, com o caudal e temperatura corretos; lavagem do sistema de tingimento em condições de operacionalidade; preparação de uma solução de corantes com as concentrações corretas; a distribuição equitativa do banho de tingimento por cada uma das seis fitas a partir do distribuidor presente sob a máquina; banho de tingimento com as concentrações de corante corretas; distribuição das fitas pelas calhas da cuba TMD; a separação de efluentes tintos resultantes do processo e, o sistema alternativo de corantes.

## 3.2. Análise de Viabilidade

Converter a máquina, onde até então se encontrava parte da capacidade de fibra tinta “*gel-dyed*”, para produção de precursor de fibra de carbono (PFC), possibilita o aproveitamento de determinados equipamentos e instrumentos, permitindo uma ligeira redução no valor do investimento necessário à implementação em estudo.

Para aprovação de um pedido de investimento por parte da empresa que detém o capital da Fisipe, a SGL Carbon, é necessário um estudo de viabilidade ao projeto, através de um investimento inicial requerido. A aferição desse valor de investimento requer uma estimativa de custos de cada uma das áreas presentes no projeto, sendo elas a instrumentação e elétrica, a instalação de tubagens e a parte mecânica responsável pelo conjunto de equipamentos. Para efeitos de estimativa de custos, considera-se a função civil como parte integrante da criação das tubagens.

Um estudo de mercado realizado previamente pelo departamento de vendas da Fisipe, surge como método de análise da progressão de vendas de fibra acrílica tinta, ao longo da prevista vida útil do projeto.



### 3. Metodologia

É criado um estudo baseado em três cenários, com probabilidades de ocorrência desconhecidas e, estabelecidos os seus pressupostos (Tabela 3.1). A margem de preço da fibra tinta em relação a fibra em cru é calculada através da média ponderada dos valores obtidos no ano de 2017.

Tabela 3.1-Pressupostos criados para análise de viabilidade ao projeto.

Parâmetros	Cenário Base	Cenário Pessimista	Cenário Otimista
Margem bruta de fibra “gel-dyed” para fibra em cru	133 €/ton	133 €/ton	133 €/ton
Produção na SPM2	2 000 ton/ano	1 000 ton/ano	3 000 ton/ano (1º ano) /3 400 ton/ano (anos seguintes)

O plano de vendas criado prevê um aumento progressivo da procura no mercado de fibra “gel-dyed”, pelo que até 2020 ocorre, num cenário otimista, um aumento de 1 400 ton/ano produzidas na máquina 2 e, um decréscimo de 50% de capacidade relativamente ao valor padrão do cenário base, num cenário pessimista. As vendas no ano de arranque são consideradas nulas uma vez que, considerando o agendamento da conversão de uma das máquinas para PFC apenas para os meses iniciais do ano de 2019, seria uma possibilidade manter a produção de fibra “gel-dyed” nesta máquina até à data em questão, ocorrendo a perda de capacidade e, por conseguinte, a necessidade de conversão da máquina 2, unicamente em 2019.

Uma vez que a máquina 2 será usada como máquina extra para o tingimento da fibra, estipula-se que as restantes quatro máquinas de “gel-dyeing” satisfaçam a restante capacidade de fibra “gel-dyed”, de modo a perfazer uma capacidade total de 23 000 ton/ano.

A construção do projeto apresenta uma duração de cinco (5) meses e uma vida útil de nove (9) anos. As taxas, estipuladas pela empresa e, utilizadas na análise de rentabilidade são as apresentadas na Tabela 3.2, sendo a taxa de desconto calculada não contemplando o efeito da inflação (Equação 3.1) [36], uma vez que o pretendido é analisar a preços constantes, somente a viabilidade do processo, independentemente de onde este se enquadra. As taxas de desconto normalmente utilizadas para projetos a preços constantes e de risco médio rondam cerca de 10% [26].

$$\begin{aligned} \text{Taxa de desconto (\%)} &= (1 + \text{Taxa sem risco}) \times (1 + \text{Prémio de risco}) \\ &\times (1 + \text{Taxa de inflação}) - 1 \end{aligned} \quad (3.1)$$

### 3. Metodologia

Tabela 3.2-Índices utilizados na análise de viabilidade.

Taxa de desconto	11%
Taxa de imposto	0%

Ao longo da vida útil do projeto é necessário amortizar o investimento com a máquina de “*spinning*” e, uma vez tratando-se de alterações da máquina atualmente existente, este valor difere no primeiro ano de funcionamento (Equação 3.2) em relação aos anos seguintes (Equação 3.3).

$$\text{Amortização} \left( \frac{\text{€}}{\text{ano}} \right) = \left[ \frac{\text{Investimento Total (€)}}{\text{Vida útil (anos)}} \right] \times \text{Tempo de funcionamento} \quad (3.2)$$

$$\text{Amortização} \left( \frac{\text{€}}{\text{ano}} \right) = \left[ \frac{\text{Investimento Total (€)}}{\text{Vida útil (anos)}} \right] \quad (3.3)$$

Os rendimentos líquidos do projeto baseiam-se no resultado operacional que, por sua vez contempla a subtração entre o resultado residual do valor anual de vendas após a dedução da amortização do equipamento e as taxas anuais cujo valor é nulo, pois como referido anterior, a taxa de desconto é considerada prévia às taxas aplicadas.

Nos fluxos de caixa tem-se em conta as despesas e ganhos associados ao sistema sendo eles, o valor do pedido de investimento e o valor dos rendimentos líquidos, respetivamente. A amortização é adicionada nestes balanços de caixa, por se tratar de um item não monetário [37]. Num sistema de “*gel-dyeing*”, a quantidade gasta de utilidades ou o preço dos corantes utilizados são dados inerentes e já contabilizados para as restantes máquinas, nomeadamente na máquina que será convertida para PFC. Desta forma, a implementação de uma nova máquina após a perda de capacidade de “*gel-dyeing*” na fábrica, não implica um aumento das despesas acima referidas, sendo estes valores, desprezados na análise de viabilidade.

Os valores de fluxo de caixa são posteriormente atualizados para o seu valor presente (Equação 3.5), recorrendo a um fator de desconto anual também designado por coeficiente de atualização, que por si depende da taxa de desconto atribuída no início do projeto (Equação 3.4) [20], [21].

$$\text{Fator de desconto (\%)} = \frac{1}{(1+i)^n} \quad (3.4)$$

Sendo “i” equivalente à taxa de desconto e “n”, o período referente ao ano em questão.

### 3. Metodologia

$$\text{Valor Atual (€)} = (\text{Fluxo de caixa líquido} + \text{Taxas}) \times \text{Fator de desconto} \quad (3.5)$$

É necessário determinar a quantidade monetária que deverá encontrar-se disponível no momento atual para que exista um valor acumulado num determinado futuro definido e, para tal, calcula-se a acumulação de todos os valores atuais. Tendo conhecimento destes valores, é possível a perceção do período no qual ocorre o retorno do investimento, sendo este o período no qual o valor atual acumulado retoma um valor positivo. No entanto, e sabendo que estes valores não são constantes, é necessário o cálculo do tempo exato para recuperação do investimento total realizado no início do projeto (Equação 3.6) [38].

$$\begin{aligned} \text{Prazo de recuperação do capital} \\ = \text{Período anterior} + \left( \frac{\text{Valor em falta no início do ano}}{\text{Valor Atual durante o ano}} \right) \end{aligned} \quad (3.6)$$

Todavia este período assume como momento de injeção de capital o início do primeiro ano e, como tal, ao valor obtido é necessário retirar o período até ao qual não ocorreram quaisquer investimentos relacionados com o projeto (Equação 3.7) e, o período de estudo e construção do projeto (5 meses).

$$\text{Período anterior ao investimento} = \frac{\text{Mês de injeção de capital} - 1}{12} \quad (3.7)$$

Prevê-se a aprovação de capital no mês de abril de 2018 (portanto, mês 4) e, uma vez tratando-se do início do mês e não final, é necessário subtrair uma unidade para se conceber a perceção de um total de 3 meses prévios à injeção do investimento base.

Tal como o prazo de recuperação do capital, existem outros indicadores para expressar a rentabilidade de um projeto. Utilizados nesta análise de viabilidade económica são também a taxa interna de rentabilidade (TIR) e o Valor atualizado líquido (VAL) (Equação 3.8) [20].

$$\text{Valor atualizado líquido (€)} = \sum_{t=1}^T \frac{(\text{Fluxo de Caixa})_t}{(1+r)^t} - I \quad (3.8)$$

Sendo “r”, o custo de capital, ou seja, a taxa de desconto utilizada para atualizar os fluxos de caixa, “t” o período a que se refere o cálculo e “I”, o valor de investimento inicial.

Sabendo que a taxa interna de rentabilidade (TIR) diz respeito à taxa de desconto que equipara os recebimentos do projeto, aos gastos nos quais se encontram contemplados todos os custos de investimento, a sua fórmula é obtida igualando o valor atualizado líquido a um valor nulo (Equação 3.9). O seu cálculo depende da realização de diversas iterações e, por conseguinte, é utilizada a função TIR

### 3. Metodologia

da Microsoft Excel® para devolver o valor em questão. Como incremento opcional, é possível atribuir à função um valor estimado do qual se aproximará o resultado da TIR e esse valor foi arbitrado como a taxa de desconto utilizada [20].

$$0 = \sum_{t=1}^T \frac{(\text{Fluxo de Caixa})_t}{(1+r)^t} - I \quad (3.9)$$

No entanto, devido às deficiências existentes na conceção da taxa interna de rentabilidade, é necessário recorrer ao cálculo da taxa interna de rentabilidade modificada (TIRM), por forma a obter respostas mais precisas da realidade do projeto (Equação 3.10) [39].

$$\text{TIRM (\%)} = \left[ \frac{\text{Valor Futuro de fluxos positivos}}{\text{Valor Presente de fluxos negativos}} \right]^{\frac{1}{n}} - 1 \quad (3.10)$$

Sendo n, o número de períodos do projeto.

Para analisar o impacto que uma determinada variação nas variáveis previamente definidas do projeto poderá causar na escolha de viabilidade do mesmo, é elaborada uma análise de sensibilidade ao estudo de viabilidade. Faz-se variar o valor de investimento inicial e de margem de fibra “gel-dyed” em relação à fibra em cru, num intervalo de -20% a 20% do valor inicialmente estabelecido.

### 3.3. “Process and Instrumentation Diagram”

No decorrer de um projeto de engenharia a elaboração de um diagrama de processo que complemente a engenharia de detalhe com representação processual e especificação de equipamentos e instrumentação, é uma tarefa indispensável. Visando a padronização do sistema, foram incluídos aos desenhos existentes do processo de tingimento de fibra acrílica por via do sistema de “gel-dyeing”, os desenhos N° 191079 e 191080 contemplando as alterações presentes na engenharia básica do projeto.

Os desenhos em questão, criados com recurso à ferramenta AutoCAD® Plant 3D 2018, descrevem as áreas de alimentação de corantes à máquina “spinning”, que abrangem os tanques de armazenamento de corantes e a bomba responsável pelo doseamento destes à máquina e, a área da cuba de tingimento (TMD) onde se realiza o tingimento da fibra.

Todos os elementos presentes nos desenhos regem-se por normas Fisipe, apresentadas em resumo no “Anexo III – Legenda P&ID segundo normas Fisipe”.





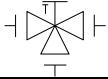
### 3. Metodologia

#### 3.3.1. Instrumentação e Elétrica (E&I)

Por se incluir num processo de otimização e uniformização do sistema de tingimento de fibra acrílica na Fisipe, a instrumentação empregue neste projeto surge com um papel de certa relevância face às etapas ao cargo da mecânica e de instalação de tubagens.

A estrutura de instrumentação utilizada engloba as válvulas presentes no processo, o tipo de instrumentos e os sinais, pneumáticos ou elétricos. As comunicações de controlo são atuadas por sinal elétrico, contudo todas as válvulas (de controlo e automáticas), apresentam um atuador pneumático. Para este tipo de comunicação são utilizadas electroválvulas. De entre as válvulas empregues no processo de “gel-dyeing”, encontram-se representadas na Tabela 3.3 as utilizadas nos desenhos.

Tabela 3.3- Representação no P&ID das válvulas presentes nos desenhos 191079 e 191080.

Tipos de válvulas			
Válvula de Macho Esférico		Válvula ON/OFF	
Válvula de controlo com atuador diafragma		Válvula ON/OFF de 3 vias com ligação em T/L	
Válvula de Macho Esférico de 3 vias			

A identificação de um equipamento permite conhecer o seu tipo e especificação, apresentando uma nomenclatura a si associada. No caso das válvulas manuais esta identificação depende do tipo de válvula e do seu material, como representado na Figura 3.2.

No que diz respeito a válvulas do tipo ON/OFF e válvulas de controlo, ambas conectadas através de sinais elétricos a um autómato do sistema, a nomenclatura associada baseia-se numa combinação de siglas correspondentes à área do processo onde se inserem, ao tipo de válvula e ao número do anel de controlo. Exemplos destas representações são apresentados na Figura 3.3.

A existência de instrumentação é imprescindível num diagrama de processo e cada instrumento nele representado desempenha uma determinada função, seja ela de controlo ou apenas de indicação de sinal. No sistema de “gel-dyeing”, as variáveis do processo são controladas com recurso a instrumentação adequada, com o propósito de otimização e estabilização das mesmas. Alguns tipos de instrumentos existentes são mencionados na Tabela 3.4.

### 3. Metodologia

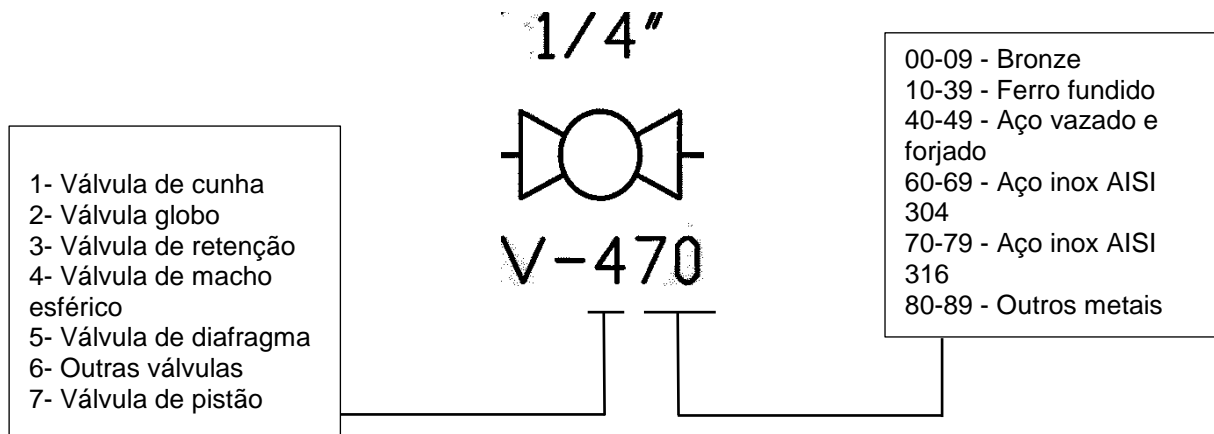


Figura 3.2-Exemplo da representação de válvula de macho esférico no P&ID com respetiva numeração.

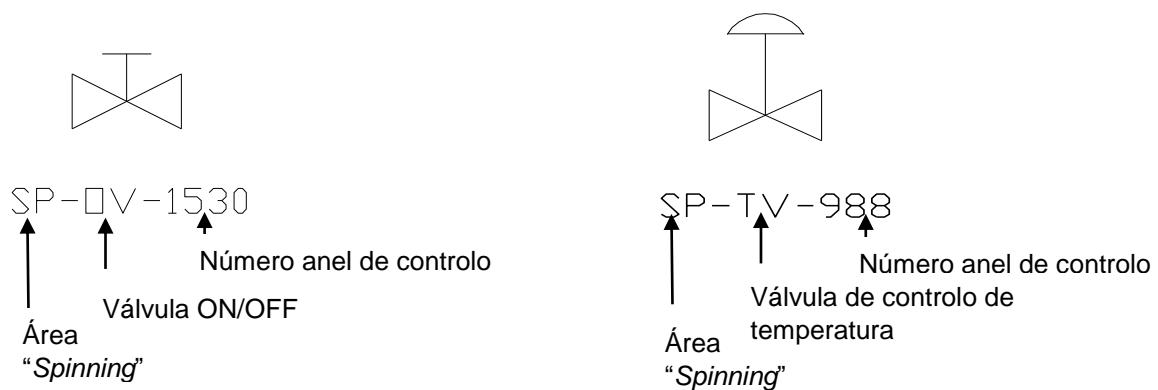

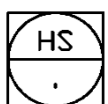

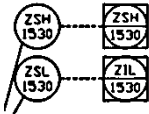
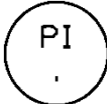




Figura 3.3-Exemplo da representação de uma válvula ON/OFF (à esquerda) e de controle com atuador pneumático (à direita).

### 3. Metodologia

Tabela 3.4-Tipos de instrumentos presentes no processo.

Tipos de Instrumentos			
PLC		Hand-Switch	
Rotâmetro regulável		Fim-de-curso	
Indicador de pressão		Transmissor de temperatura	
Level-Switch		Indicador e controlador de caudal com alarme	



Para melhor compreensão da tabela acima apresentada, é de salientar que os chamados “*Hand-Switch*” se encontram conectados a válvulas ON/OFF cujo funcionamento depende da atuação de uma botoneira de campo manipulada pelos operadores da área em questão. Estas válvulas encontram-se a cada uma das seis ranhuras da mesa de tingimento para corte individualizado de líquidos de recirculação, por exemplo. Como medida de otimização em relação às restantes máquinas de “*gel-dyeing*”, acoplou-se um sensor de presença de líquido do tipo vibratório (“*level-switch*”) à zona inferior dos tanques de armazenamento de corantes que atua conjuntamente com o transmissor de nível existente. Esta medida permite assim minimizar o desperdício de corante de cada tanque e o aumento da fiabilidade na troca de tanques.

Como ação de melhoria da análise modal de falhas e efeitos (FMEA) para uma eventual falha dos cilindros de lavagem dos tanques de armazenamento de corantes, estabeleceu-se a implementação de fins-de-curso (com alarme) em redundância com o temporizador atual. O funcionamento em vigor recorria unicamente a um temporizador que iniciava a contagem no momento em que os cilindros desciam por meio da ação da água a si admitida e, ao fim de um determinado período estipulavam o movimento ascendente por via da admissão de ar aos cilindros. Recorrendo aos fins-de-curso, o movimento de ascensão/descensão dos cilindros de lavagem é controlado de forma mais eficiente e, através do alarme implementado é possível uma deteção rápida de qualquer anomalia.

Como referido anteriormente, existem dois tipos de sinais diferenciados no que diz respeito à instrumentação em campo, pneumáticos e elétricos. De modo a facilitar a sua distinção existem normas para a sua representação, tal como é possível verificar na Tabela 3.5.

### 3. Metodologia

Tabela 3.5-Tipos de sinais de instrumentação.

Tipo de Sinal			
Linha de sinal pneumático		Linha de sinal eléctrico	

A ampliação de um dos ciclos de controlo representados nos diagramas de processo elaborados é apresentada em seguida na Figura 3.4. Com este exemplo é perceptível o modo de ligação entre as válvulas e os instrumentos através de uma comunicação via rede eléctrica, tendo como interveniente, o PLC (*“Power Line Communication”*), que controla a atuação pneumática da válvula. Um transmissor é responsável pela medição e envio, por sinal eléctrico, do nível medido nos tanques para o controlador que, por sua vez, coordena a válvula ON/OFF para a posição que deve assumir. O sinal transmitido pelo PLC é eléctrico, contudo, como o atuador da válvula opera pneumaticamente estabeleceu-se a representação do ciclo de controlo da maneira representada. A válvula ON/OFF apresenta duplos fins-de-curso, como medida de confirmação do movimento da válvula. ZSH representa um fim-de-curso aberto enquanto ZSL, um fim-de-curso fechado.

A nomenclatura utilizada para os instrumentos é semelhante à das válvulas e a numeração de sinais e instrumentos foi previamente designada pelo departamento de Manutenção da empresa.

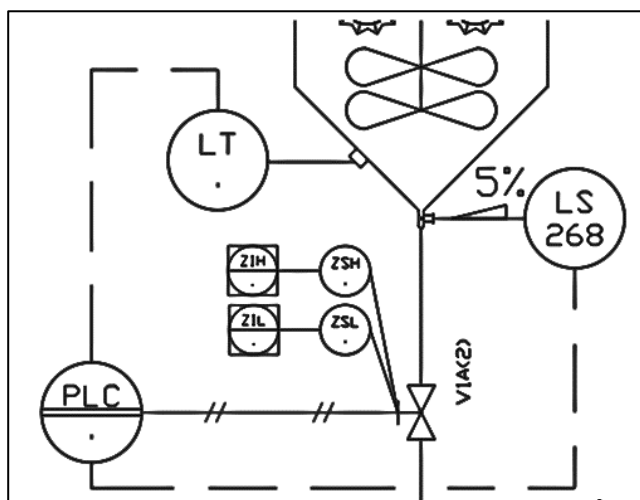


Figura 3.4-Representação de um anel de controlo no P&ID.

Contemplada na engenharia básica do projeto, encontra-se a adição de um transmissor de pressão para indicação e alarme da pressão na tubagem de recirculação do retardador, na chamada “cozinha de cores” (Desenho N°2/191012). O transmissor, instalado em série com o indicador de pressão existente, permite a indicação deste valor no DCS da máquina de “*spinning*”, denominado nos P&ID por “autómato” (Figura 3.5).



### 3. Metodologia

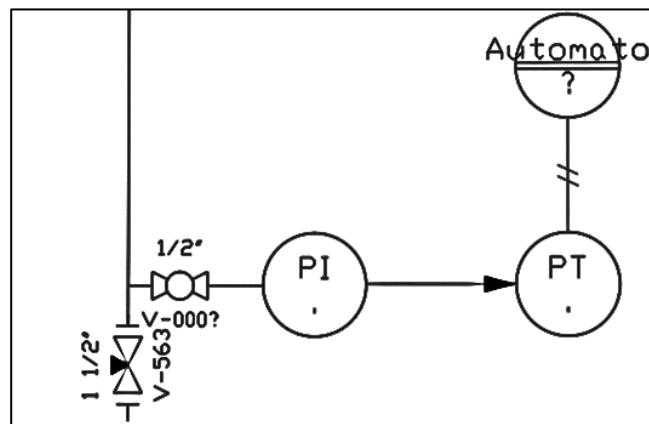


Figura 3.5-Alteração da linha de retorno de Astragal (retardador).

#### 3.3.2. Tubagens

Na construção de um P&ID, as tubagens são identificadas de modo a indicarem todos os aspetos necessários para a execução da Engenharia de detalhe. Estes parâmetros dizem respeito ao diâmetro da tubagem, o tipo de fluído, o número sequencial, o material de construção e isolamento, caso seja necessário. Um modelo representativo desta nomenclatura encontra-se na Figura 3.6.

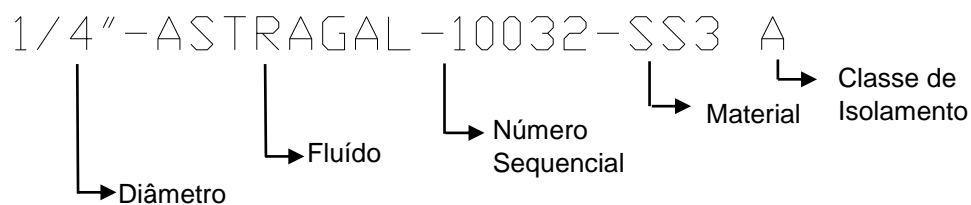


Figura 3.6-Represntação de uma tubagem no P&ID.

Na Fisipe é possível encontrar uma lista de fluídos com siglas previamente designadas. Para o processo de “gel-dyeing” recorre-se aos fluídos presentes na Tabela 3.6, sejam eles fluídos de processo ou utilidades.

### 3. Metodologia

Tabela 3.6-Lista de fluídos do processo com respetivas siglas.

Fluídos do processo	
Fluído	Sigla
Água recuperada	RW
Água desionizada	DIW
Corantes	DYE
Flavina	FLAVINA
Astragal PAN-F	ASTRAGAL
Efluentes diluídos	Efd
Efluentes concentrados	Efc

No processo é utilizada a água recuperada (RW) como medida de lavagem dos tanques de armazenamento de corantes e da própria máquina de “*spinning*” e, do controlo do nível mínimo da cuba de tingimento. Quanto à água desionizada (DIW), esta é responsável pela lavagem de linhas e válvulas de corante (incluindo a pressurização de vazios das ditas válvulas) e como fluído de refrigeração das tubagens de recirculação da cuba de tingimento. A linha de efluentes diluídos tem como destino a fossa da área enquanto os efluentes concentrados são encaminhados para a linha de “restos”.

De entre as variadas classes de materiais utilizadas na Fisipe, o sistema de tingimento da fibra acrílica recorre unicamente a Inox AISI 304 (designado no P&ID por SS2) para tubagens onde circula água recuperada, aço de carbono no que diz respeito a água proveniente das torres de refrigeração e Inox AISI 316 (no P&ID como SS3) para as tubagens de corantes e de retardador. Em troços onde é necessária uma maior maleabilidade das tubagens, aplicam-se os chamados “flexíveis”, designados no P&ID pela sigla FLEX.

Para conservar as condições de uma tubagem reveste-se a linha com uma determinada classe de isolamento que, na Fisipe, varia de A a G, em consonância com a temperatura. As classes de isolamento utilizadas na empresa consistem nas apresentadas na Tabela 3.7.

Tabela 3.7-Classes de isolamento usadas na Fisipe.

Temperatura	Classe de isolamento
50°C - 100°C	A
100°C - 150°C	B
150°C - 200°C	C
200°C - 250°C	D
Prevenção de condensação	H
0°C - 5°C	E
-10°C - 0°C	F
-20°C - -10°C	G

### 3. Metodologia

Procede-se à ligação das tubagens com os restantes equipamentos e instrumentos do sistema através de flanges, soldadura ou roscas. Contudo, na linha de alimentação de corante a partir do terraço (que diz respeito à flavina), deve-se sempre que possível optar por troços de tubagem sem pontos de ligação. Em caso de extrema necessidade, é unicamente possível utilizar-se ligações roscadas. Na eventualidade de existirem reduções no diâmetro da tubagem ao longo do processo, recorre-se a reduções do tipo excêntrico ou concêntrico, dependendo do escoamento do fluído e, da orientação da tubagem (vertical ou horizontal).

A corrente onde circula a recirculação do banho de tingimento encontra-se encamisada, para arrefecimento da cuba de tingimento (cuba TMD). Tal deve-se ao facto de a temperatura do tingimento influenciar a velocidade do mesmo e a sua regularidade. Esta tubagem é representada no desenho Nº191080. A continuação de uma corrente que alterne entre desenhos necessita de ser representada com um conector que contenha a informação sobre o seu destino e de onde provém. Nos casos em que ocorra a falta de informação sobre a proveniência de uma determinada tubagem ou o seu destino, é representada uma seta com as respetivas informações.

#### 3.3.3. Equipamentos

Em questão dos equipamentos propostos na engenharia básica para funcionamento do sistema, a lista assemelha-se às restantes máquinas de tingimento de fibra com a exceção da modificação da zona inferior dos tanques de armazenamento de corantes, adequando-se ao acoplamento do sensor de nível mínimo ("level-switch"). Esta alteração pode ser visível em maior detalhe na Figura 3.7.

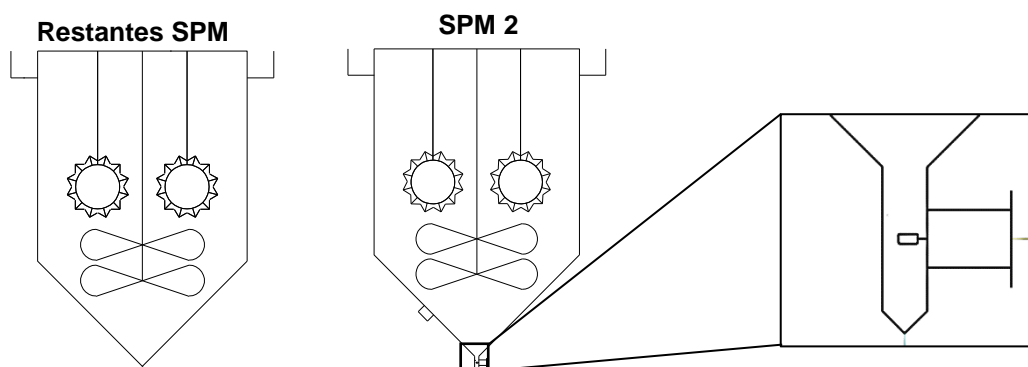


Figura 3.7-Diferença entre as representações dos tanques de corante das máquinas.  
\*SPM – "Spinning Machine"

### 3. Metodologia

Os tanques de armazenamento de corantes são dois, semelhantes entre si, que nunca se encontram em funcionamento simultaneamente. Cerca de 1 minuto antes de se esgotar o corante num dos tanques (A ou B), a válvula de fundo do respetivo tanque (V1) é fechada enquanto se abre a válvula do tanque paralelo, desta forma assegura-se a eliminação de bolhas de ar, na tubagem entre os tanques e a válvula de 3 vias seguinte (V3) que poderiam eventualmente introduzir interrupções na alimentação de corantes à máquina. Importante salientar a existência de um agitador em cada tanque para homogeneização da mistura de corantes.

A nomenclatura usada para equipamentos segue uma sequência lógica que combina fatores como o tipo de equipamento, a área onde se localiza, o número e, a ordem dos equipamentos com a mesma função designada por uma determinada letra. Um exemplo encontra-se apresentado na Figura 3.8.

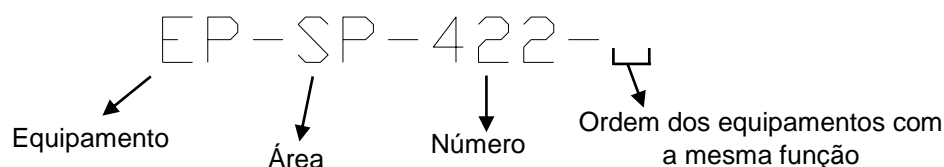



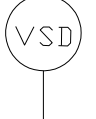
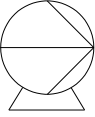
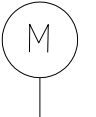
Figura 3.8-Representação da nomenclatura da bomba de recirculação no P&ID.

Visto tratar-se de um equipamento único no sistema de “gel-dyeing” de uma determinada máquina, a bomba de recirculação não apresenta qualquer ordem de equipamentos com a mesma função que a sua. No caso de se tratar de um motor, este fator é substituído pelo número dos vários motores do mesmo equipamento.

Nos desenhos N°191079 e N°191080 (presentes no Anexo IV – P&ID's), é possível identificar a existência de dois tipos de bombas: a bomba peristáltica que realiza o doseamento do banho de tingimento à máquina e as bombas centrífugas. O processo de “gel-dyeing” inclui ainda a presença de bombas diafragma, na cozinha de cores e no sistema de armazenamento do retardador (Astragal). Uma bomba peristáltica ou centrífuga opera através de sinais elétricos contrariamente a uma bomba diafragma que atua por ação de ar comprimido. Por sua robustez e, tendo em conta o tipo de fluido a encaminhar e o seu caudal, a bomba centrífuga é empregue no sistema de recirculação da cuba de tingimento (cuba TMD) enquanto, a bomba peristáltica devido à sua capacidade de medição de alta precisão, é utilizada no doseamento de corantes à cuba.

Tanto a representação das diferentes bombas presentes nos desenhos aqui mencionados, como dos seus motores e variadores de frequência (VSD) se apresentam na Tabela 3.8.

Tabela 3.8-Representação de bombas utilizados nos P&ID.

Tipos de Bombas e seus constituintes			
Bomba Peristáltica		Variador de Frequência	
Bomba Centrífuga		Motor	

A cuba de tingimento, sendo o equipamento essencial para o projeto de “gel-dyeing”, é composta por uma mesa de tingimento por onde passa a fibra, calhas individualizadas, um conjunto de redes para retenção de filamentos que se possam formar e um anti vórtice que impede a passagem de ar e por conseguinte, a cavitação da bomba de recirculação, tal como é possível verificar através da Figura 3.9. A mesa de tingimento apresenta espaço reduzido entre a base e a tampa para assegurar uma eficaz e homogênea penetração dos líquidos através da fibra. [40]

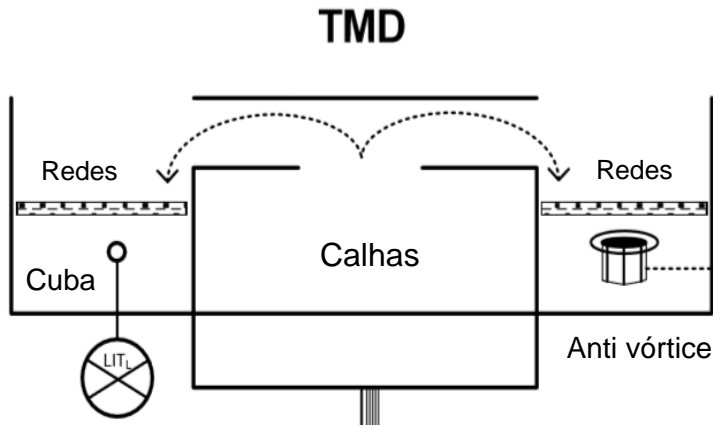


Figura 3.9-Representação da cuba TMD [41].

À saída da cuba, a corrente de recirculação passa por um filtro de rede, denominado “strainer”, para que se retenha qualquer impureza por forma a não alcançar a alimentação da bomba centrífuga. O filtro e a própria cuba de tingimento, por sua natureza, não apresentam quaisquer nomenclaturas associadas

## 4. Apresentação e Discussão de resultados

### 4.1. Análise Modal de Falhas e Efeitos (FMEA)

Todas as falhas analisadas como consequência ao disfuncional funcionamento do sistema de tingimento têm implicação na redução de fibra acrílica de grau A e contribuem para a instabilidade do processo. Dada a eventualidade de ocorrência de uma falha no sistema de separação de efluentes tintos, poderá ocorrer ainda uma perda de solvente e contaminação da área de Recuperação de Solvente (Área SR), sendo esta a falha com o índice de gravidade mais elevado nesta análise FMEA.

A existência de um controlo atual estável e eficiente viabiliza uma rápida deteção da anomalia, minorando o valor do índice de não. Atualmente para realizar este tipo de controlo é necessário recorrer aos sistemas WinCC e Cireco, por observação visual ou através de um técnico de controlo de cores (TCC).

De entre as 163 potenciais anomalias analisadas, 41 contam com um número de priorização do risco (NPR) superior a 115, pelo que apresentam risco elevado para o eficiente desempenho do processo. As ações de mitigação propostas variam consoante o controlo atualmente implementado e muitas passam por uma adição de sistemas de instrumentação automática e manutenção recorrente como acréscimo ao registo de rotina realizado presentemente, tal como é possível observar nos exemplos detalhados, representados na Tabela 4.1 e, contidos no Anexo II – Análise FMEA.

De todas as possíveis anomalias verificadas, foi identificado o índice que agrava o seu valor de priorização do risco, constatando através da Figura 4.1 que a gravidade de cada falha é o indicador que mais contribui para a designação de uma falha, como seria expetável.

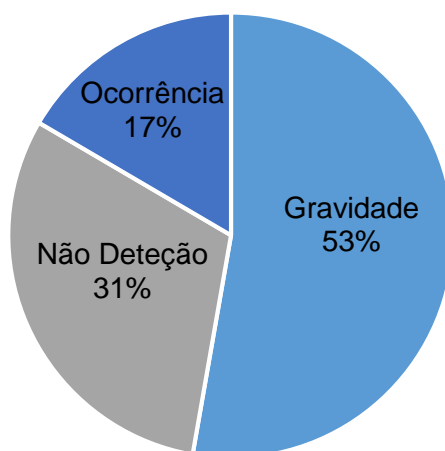


Figura 4.1- Segmentação dos índices que crescem o número de priorização do risco, das 163 potenciais falhas analisadas.

#### 4. Apresentação e Discussão de Resultados

Tabela 4.1- Exemplos de tipos de falha designados com número de priorização do risco elevado e respetivas ações de mitigação recomendadas.

Atividade/Processo	Causa(s) de Falha Potencial	Tipo de Falha	Efeito da Falha	Controlo atual	G	O	ND	NPR	Ação(ões) Recomendada(s)
Caudal de alimentação de corante correto	Falha do caudalímetro	Descalibração/ Saturação	Caudal errado e cor fora	TCC	7	4	8	224	Instalar 2º caudalímetro em série com monitorização da diferença
Alimentação de retardador à cuba de tingimento	Falha da válvula ON/OFF	Válvula presa	Fibra com riscas	Registo de rotina 3h	7	4	8	224	Teste válvula automática em sistema de Supervisão e Aquisição de dados
Preparação de uma solução de corantes com as concentrações de corante corretas	Falha da válvula de 3 vias na entrada do tanque	Falta de estanquicidade (corantes)	Cor fora por contaminação	TCC	6	3	8	144	Plano de substituição (2 em 2 anos)
Banho de tingimento com as concentrações de corante corretas	Falha da válvula de descarga da cuba de tingimento	Fuga de corante	Cor fora por diluição	TCC	6	3	8	144	Implementar uma sonda de temperatura na saída de efluentes da cuba

#### 4. Apresentação e Discussão de Resultados

Elaborando a mesma análise unicamente para as 41 falhas com NPR superior a 115, ou seja, possíveis anomalias com risco elevado de falha no processo, é estabelecida a Figura 4.2, na qual é perceptível a influência maioritária do indicador de não deteção. Por esta razão, é imprescindível a proposta de medidas de automação do controlo existente, ou um acréscimo das metodologias aplicadas.

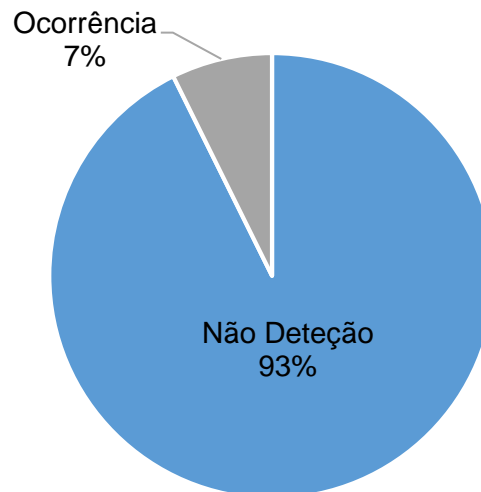


Figura 4.2- Segmentação dos índices que atribuem ao NPR um valor de risco, das 41 falhas potencialmente de risco elevado.

De entre os 41 tipos de falhas com valor de priorização de risco elevado, cinco encontram-se relacionadas com o caudalímetro responsável pela alimentação do caudal correto de corante à máquina de “*spinning*”, o atual procedimento efetuado por um técnico de controlo de cores apresenta um índice elevado de não deteção da falha apesar de apresentar um baixo índice de ocorrência, como medida de prevenção é necessária a instalação em série de um segundo caudalímetro externo ao ciclo de controlo, com monitorização da diferença entre os valores medidos por ambos os instrumentos (exemplo descrito na Tabela 4.1).

Por sua vez, a distribuição desproporcional do banho de tingimento pelas seis fitas de fibra acrílica pode ser provocada por, pelo menos, 10 tipos de falhas distintos com índice de gravidade moderado, mas cujo método de deteção implementado é ineficaz para a sua prevenção. A ação de mitigação recomendada baseia-se na instalação de um transmissor de pressão à entrada de cada uma das calhas da cuba TMD, assumindo que oscilações nos valores de pressão entre transmissores correspondem a discrepâncias no caudal de tingimento alimentado a cada uma das fitas de fibra acrílica. Porém, a tubagem que encaminha o banho de tingimento desde o distribuidor às calhas trata-se de um tubo flexível, impossibilitando a instalação de qualquer instrumento, pelo que se trata de uma possível falha com ação de mitigação ainda em fase de avaliação.



#### 4.Apresentação e Discussão de Resultados

As alterações resultantes e aprovadas da análise de falhas visam a otimização e padronização do processo de tingimento, podendo eventualmente ser aplicadas nas restantes máquinas. Esta adição de elementos ao sistema, posterior à análise modal de falhas e efeitos, naturalmente origina um acréscimo ao valor do investimento pedido para a realização do projeto.

#### 4.2. Análise de Viabilidade

Num pedido de investimento baseado numa análise preliminar do projeto, não é possível orçar o investimento total com recurso a propostas exatas, pelo que é necessária uma determinada percentagem de valores estimados. Porém, e reconhecendo a existência das restantes máquinas de fibra tinta “*gel-dyed*”, é conveniente a menor quantidade de custos estimados possível em relação a orçamentos para que o valor requerido de capital não diste de um determinado limite mínimo ou máximo, o que foi de certa forma alcançado no início do projeto em questão (Figura 4.3).

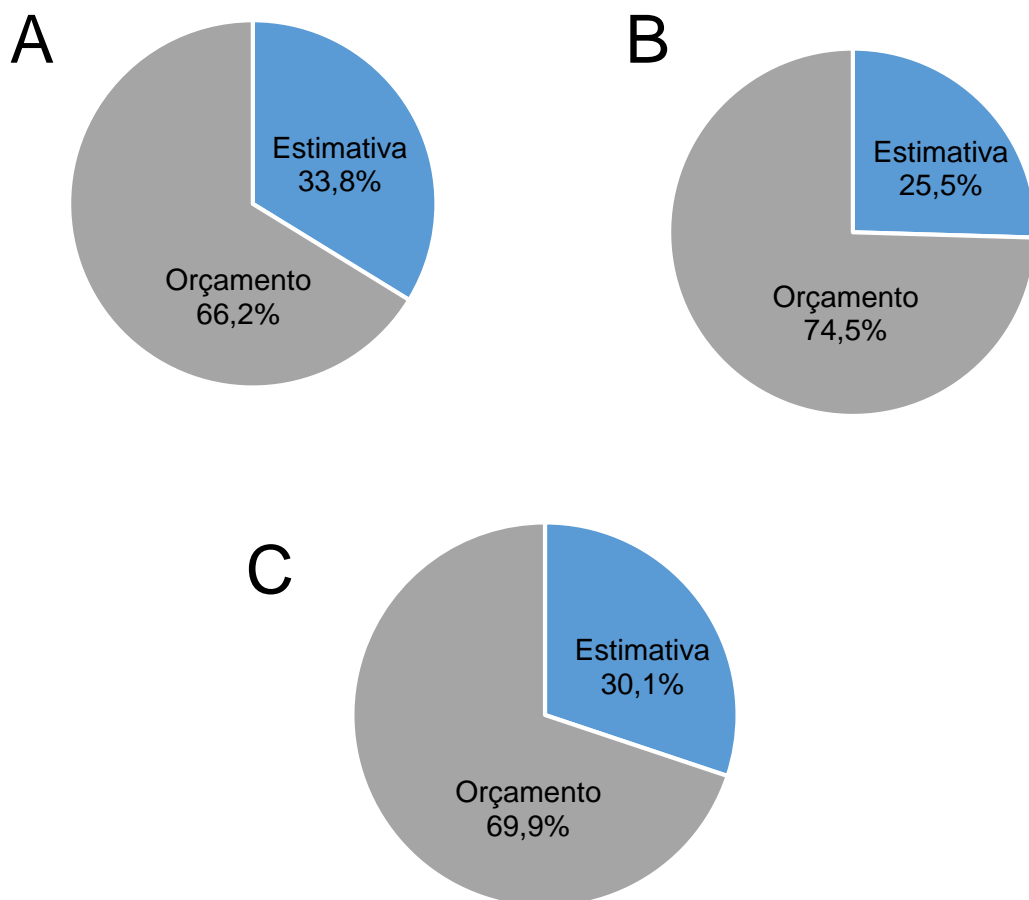


Figura 4.3-Segmentação de custos por estimativa/orçamento das áreas: A- Mecânica; B-Tubagens; C- Instrumentação e Elétrica (E&I).

#### 4. Apresentação e Discussão de Resultados

Os orçamentos realizados têm por base requisições de consulta no mercado, com recurso à especificação definida de materiais, estabelecida na engenharia básica do projeto e, na semelhança entre equipamentos atualmente existentes nas instalações.

Como referido no capítulo 3.2, o valor pedido de investimento contempla os orçamentos e estimativas de todas as áreas envolvidas no projeto, sendo que as ações de mitigação propostas na análise de risco preenchem 6% desse valor de investimento e, encontram-se contempladas a nível da área de instrumentação e elétrica. As restantes contribuições, apresentadas na Figura 4.4, dizem respeito aos trabalhos de desmontagem e recolocação dos materiais referentes ao processo de tingimento entre as duas máquinas (máquina a ser convertida para PFC e máquina 2) e, às alterações presentes na engenharia básica do projeto.

Devido à quantidade de ações incluídas no plano de trabalhos do projeto e o preço dos materiais, a instalação das tubagens contempla a maior percentagem do valor do pedido de investimento. Seguindo-se a instrumentação, por uma forte necessidade de otimização do processo por via da automação.

Aquando da implementação de um novo investimento em ambiente fabril é necessário incluir uma determinada contingência que contrabalance quaisquer desvios de valores à realidade ou alterações que advém do desenvolvimento do projeto, valor este que se decidiu por ser 5% do somatório das estimativas das áreas.

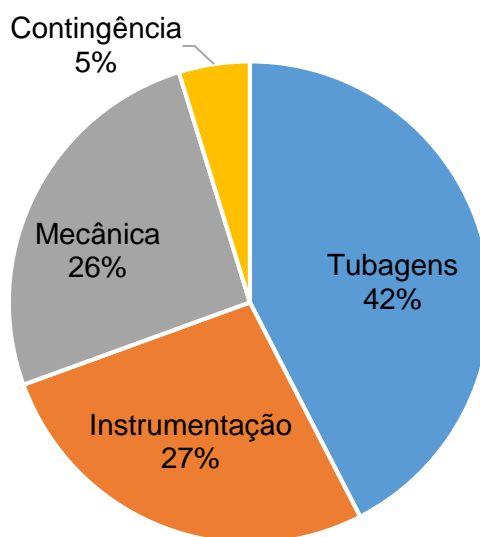


Figura 4.4-Percentagem de custos de investimento de cada área do projeto.

A nível de instrumentação, os instrumentos, listados na Tabela 4.2, referem as alterações e adições necessárias na implementação da máquina e, para efeitos de estimativa de custos inicial.

#### 4.Apresentação e Discussão de Resultados

*Tabela 4.2- Alterações implementadas na SPM2 a nível de instrumentação.*

Instrumento	Alteração
Sensor de presença de líquido	Novo
Caudalímetro adicional	Novo
Sensor de presença de líquido   Válvula ON/OFF	Implementar automação
Válvula ON/OFF   Rotâmetro regulável	Implementar automação
Válvula ON/OFF	Implementar automação
Válvula ON/OFF	Implementar automação
Válvula ON/OFF	Implementar automação
Cilindro Hidráulico / Pneumático	Implementar automação
Válvula de 3 vias	Novo
Transmissor de pressão	Novo
Transmissor de temperatura	Novo
Transmissor de pressão	Novo

Tal como referido anteriormente, os transmissores de pressão à entrada das calhas da cuba TMD foram considerados inviáveis e, apesar de cotados na estimativa inicial, não serão considerados no decorrer dos trabalhos. A instrumentação e elétrica é responsável por um total de 27% (contabilizando os 6% provenientes da análise de risco) do pedido de investimento que unicamente contempla custos para materiais, sejam eles equipamentos, tubagens ou instrumentação. Segundo valores tabelados para a instalação de um determinado projeto de engenharia, o setor correspondente à instrumentação e elétrica contempla entre 6% a 30% do custo total de material comprado consoante a quantidade de controladores e automação precisos, pelo que a percentagem obtida no projeto se encontra entre os limites esperados. Dependendo da complexidade do tipo de instrumento e do ciclo de controlo, cerca de 50 a 70% do custo inerente à instrumentação pode estar relacionado com os acessórios e a sua instalação [22]. Neste caso, a percentagem obtida é significativamente superior devido às alterações a nível de automação, até então não existente, através dos sistemas WinCC e Círculo.

No que se refere a equipamentos, a necessidade de adquirir uma nova cuba de tingimento e, alterações resultantes do espaço reduzido nas traseiras da máquina, local de parte da realização dos trabalhos, dá origem a uma estimativa de 26% do total do investimento. Esta estimativa contempla o

#### 4.Apresentação e Discussão de Resultados

aluguer de andaimes e trabalhos de montagem/desmontagem entre máquinas e, por comparação com valores tabelados nos quais o intervalo de probabilidades estimadas em projetos em ambiente fabril se encontra entre 15 a 40%, não apresenta qualquer discrepância aos limites.

Os trabalhos de modificação de tubagens contemplam 42% de todo o pedido de investimento (Figura 4.4) e, segundo as estimativas tabeladas, este valor poderia atingir os 80% do total de material necessário num novo projeto.

Somando todas as estimativas, arredondando o valor e contemplando uma contingência adicional de 5% para o projeto, é pedido um valor de investimento superior a 100 000€.

Ao longo da vida útil do projeto é necessário amortizar o investimento com as alterações realizadas à máquina de “*spinning*”. Esta amortização é linear, mas menor no primeiro ano em estudo, uma vez que o término do projeto estará previsto para o mês 8 do ano. Desprezando quaisquer amortizações a nível de edifícios e custos internos, considera-se unicamente uma amortização de 10% ao ano para os anos seguintes, referente aos equipamentos. O tempo de funcionamento é calculado tendo por base um ano com um total de 13 meses, permitindo assim exprimir o valor de cinco meses de funcionamento da máquina ainda no ano de instalação.

Os fluxos de caixa (CF) são lineares ao longo da vida útil do projeto, unicamente dependendo do fluxo de vendas semelhante em cada um dos cenários (variando ligeiramente no cenário otimista) e, do investimento inicial (Figura 4.5).

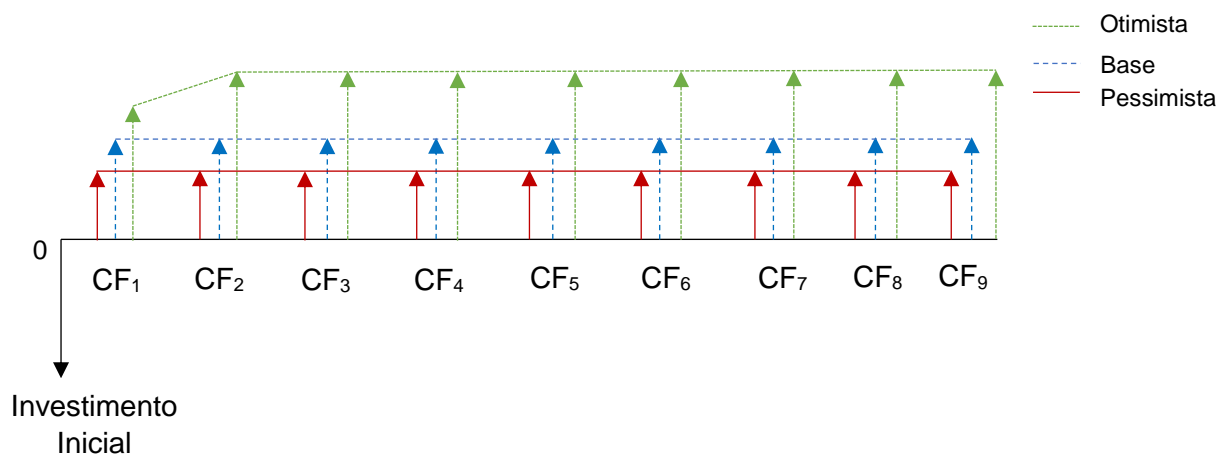


Figura 4.5-Diagrama do fluxo de caixa associado ao projeto nos diferentes cenários.

Comparando o cenário pessimista e otimista tendo como referência a base, foram analisados graficamente os parâmetros de vendas, o valor atual, o valor atual acumulado (Figura 4.7) e os fluxos de caixa líquidos (Figura 4.6), no qual, ao último período de análise de viabilidade do projeto, corresponde o valor atualizado líquido (VAL).

#### 4. Apresentação e Discussão de Resultados

Como seria de esperar perante os pressupostos referidos no capítulo 3.2, o cenário optimista, é o mais promissor. Contudo, não é possível afirmar de forma precisa que ocorrerá um aumento da procura de fibra acrílica tinta num mercado futuro e, foi seguindo esta incerteza que se criou o cenário pessimista, como representação prevista da pior situação possível que poderia ocorrer. É necessário contrabalançar os possíveis riscos dos cenários envolvidos tendo por referência um cenário base [42].

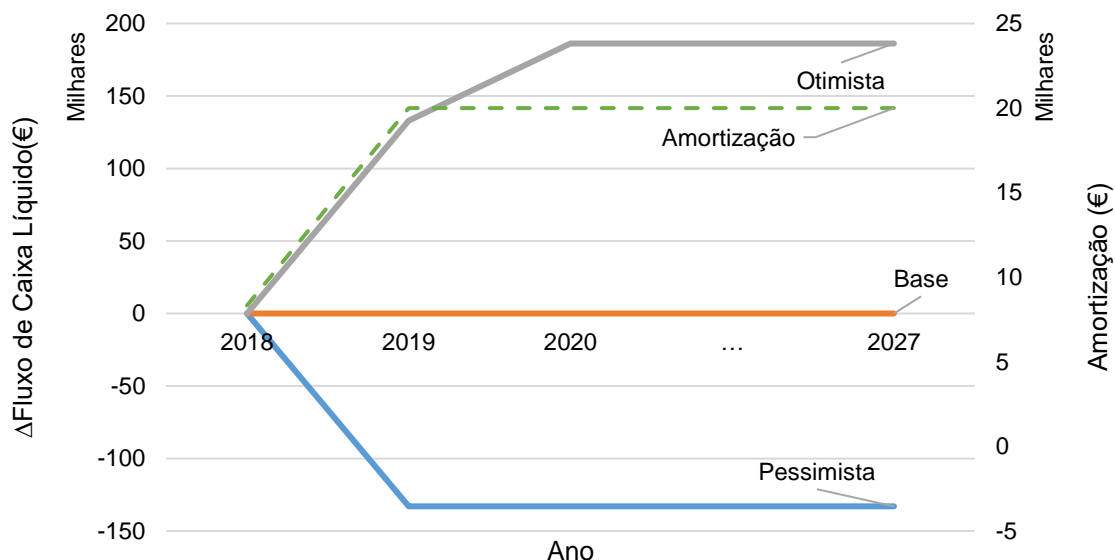


Figura 4.6-Variação de fluxos de caixa nos anos de análise do projeto com representação do valor de amortização.

Tal como mencionado no capítulo anterior, recorre-se aos índices do valor atualizado líquido (VAL), taxa interna de rentabilidade (TIR) e ao próprio prazo de recuperação do capital como indicadores da viabilidade do projeto. Com base na Tabela 4.3, são analisados os resultados. No que diz respeito ao VAL, um valor positivo indica que o investimento, se implementado e caso o planeamento de custos e previsões decorra da forma esperada inicialmente, irá valorizar o projeto devido a um compromisso favorável entre os fluxos atualizados de caixa positivos e os fluxos negativos, com uma taxa de desconto previamente definida pela empresa que representa uma taxa de retorno normalmente expectável, contando com o risco associado à implementação de um novo investimento. Um valor positivo e superior a zero sugere que o projeto cobrirá tanto o investimento inicial, bem como a remuneração mínima exigida pelo investidor, gerando ainda um excedente financeiro [18]. Em todos os cenários analisados este valor é positivo e resulta em lucro para a empresa face ao valor de investimento pedido, uma vez que no caso dos cenários mais favoráveis, apresenta um valor bastante superior ao investimento inicial.

Por sua vez, a taxa interna de rentabilidade (TIR) é uma medida percentual e analisada comparativamente à taxa de desconto definida para o projeto. Sendo este valor superior ao custo de

#### 4.Apresentação e Discussão de Resultados

capital definido, o projeto gera lucro, como seria expectável uma vez que em projetos independentes este índice de rentabilidade produz sempre a mesma decisão de investimento que o valor atualizado líquido (VAL) [20].

Contudo, e indo de encontro às desvantagens que advém do facto do modelo matemático de cálculo da TIR, como foi concebido, permitir supor (de forma implícita) que os fluxos de caixa intermediários do projeto, se positivos sejam remunerados a uma taxa de juros igual à TIR e, se negativos sejam também financiados pela mesma taxa, o seu valor difere significativamente da taxa de mercado suposta no projeto, não indicando a verdadeira rentabilidade do projeto. Como tal, recorre-se a uma nova abordagem designada por taxa interna de rentabilidade modificada (TIRM) que permite uma aproximação mais adequada do retorno do projeto, pelo facto de se utilizar uma taxa de investimento para levar os fluxos de caixa positivos ao futuro (Valor Futuro) e uma taxa de financiamento para trazer a valor presente os fluxos negativos, ambas consideradas como sendo semelhantes ao custo de capital (Valor Presente) [17,25].

*Tabela 4.3-Comparação de índices de rentabilidade entre cenários utilizados.*

	Cenário Pessimista	Cenário Base	Cenário Otimista
Valor Atualizado Líquido (VAL)	536 427 €	1 272 855 €	2 255 925 €
Taxa Interna de Rentabilidade (TIR)	65,8%	132,9%	208,1%
Prazo de recuperação do capital (PRC) ou “Payback” (PB)	±2 Anos e 2 Meses	±1 Ano e 3 Meses	±11 Meses
Taxa Interna de Rentabilidade Modificada (TIRM)	28,3%	38,6%	46,7%

O prazo de recuperação do capital pode apresentar discrepâncias na decisão de investimento comparativamente ao cenário base, uma vez sendo recorrentemente utilizado para avaliar projetos de otimização em instalações fabris. Tipicamente, o prazo de recuperação do capital esperado nestes projetos de curta duração ocorre entre 2 a 5 anos [24], pelo que analisando o cenário mais desfavorável (cenário pessimista), o prazo de recuperação do capital não ultrapassa o limite superior expectável.

#### 4. Apresentação e Discussão de Resultados

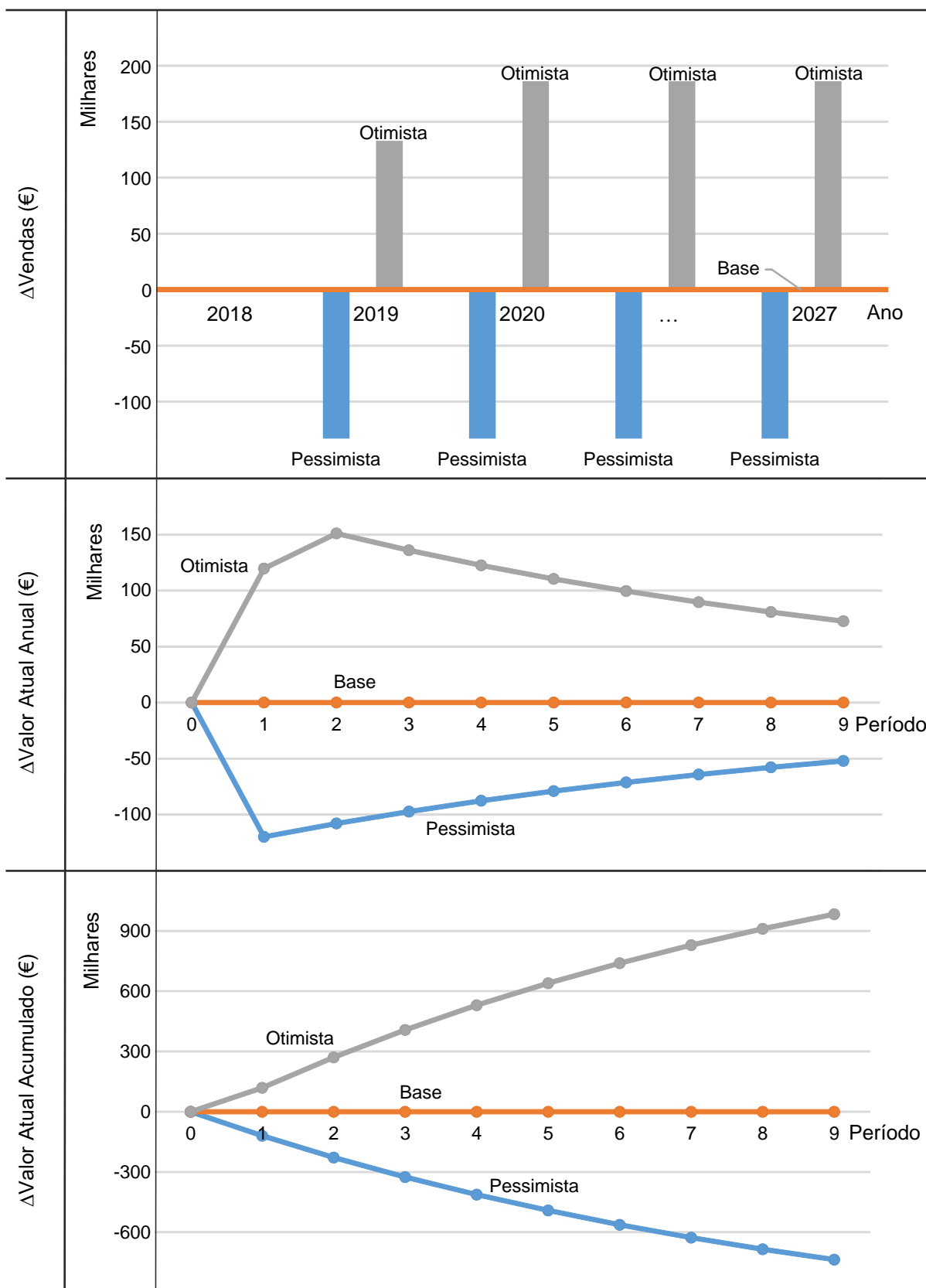


Figura 4.7- Variação na estrutura de vendas, no valor atual anual e no valor atual acumulado do projeto, no decorrer do projeto.

#### 4.Apresentação e Discussão de Resultados

##### 4.2.1.Análise de Sensibilidade

Da análise de sensibilidade na qual se fez variar o investimento inicial e a margem de fibra “*gel-dyed*” para fibra em cru, resultaram as variações presentes nos gráficos apresentados em seguida.

De salientar que apesar da variação entre -20% a 20% das variáveis avaliadas na análise de sensibilidade, todos os indicadores sugerem a viabilidade do projeto.

###### 4.2.1.1. *Margem entre fibra “gel-dyed” e fibra em cru*

O impacto causado pela variação da margem de preço entre a fibra tinta “*gel-dyed*” e a fibra em cru é visível maioritariamente a nível da taxa interna de rentabilidade (TIR), do valor atualizado líquido (VAL) e da taxa interna de rentabilidade modificada (TIRM).

O valor atualizado líquido, por depender unicamente dos fluxos de caixa e do investimento, tende a aumentar consoante o acréscimo no valor de preço entre a fibra tinta e a fibra em cru. Como tal, quanto maior for o valor do VAL, maior será a taxa de atualização que igualará os recebimentos do projeto aos custos de investimento, e dessa forma será possível assistir a um aumento da taxa interna de rentabilidade (TIR).

Uma discrepância menos acentuada ocorre à taxa interna de rentabilidade modificada (TIRM) quando comparada à taxa interna de rentabilidade simples (TIR), resultado da deficiência proveniente da conceção da própria TIR, que conduz ao facto de que os fluxos de caixa intermediários do projeto possam caminhar no tempo pela própria TIR. Desta forma, e como referido anteriormente, a TIRM permite uma melhor aproximação à realidade do projeto e da própria análise de sensibilidade.

Na Figura 4.8 é perceptível a variação semelhante dos indicadores de rentabilidade ao longo dos três cenários apresentados, apesar das diferentes escalas utilizadas.

###### 4.2.1.2. *Investimento inicial*

O investimento inicial, diferenciando-se da margem entre o preço da fibra tinta “*gel-dyed*” e a fibra em cru, provoca o efeito contrário nos índices analisados, apesar da variação percentual ser semelhante.

No que diz respeito ao valor atualizado líquido (VAL), a inclinação da curva indica a maior ou menor sensibilidade deste indicador a alterações nos pressupostos da análise de viabilidade. Na Figura 4.9, a menor variação comparativamente à alteração na margem de fibra (cerca de 20% inferior), revela um VAL menos sensível a alterações no valor de investimento, em relação ao forte impacto observado



#### 4.Apresentação e Discussão de Resultados

na análise realizada à margem de fibra tinta para fibra em cru. [17] Como seria expectável, quanto maior for o valor do investimento pedido inicialmente, menor será a rentabilidade do projeto, uma vez que o valor atualizado líquido (VAL) irá inevitavelmente decrescer.

Por razões semelhantes às decorridas do impacto de alterações percentuais na margem de preço entre fibra tinta “*gel-dyed*” e fibra em cru, um valor decrescente de VAL e, reconhecendo que se trata de um projeto de investimento convencional que apresenta desembolsos na fase inicial e recebimentos nos períodos futuros [25], implicará um decréscimo percentual do valor da taxa interna de rentabilidade (TIR), que será de forma mais atenuada quando referente ao valor da taxa interna de rentabilidade modificada (TIRM) (Figura 4.9).

Apesar de não tão acentuada como ocorre com o valor atualizado líquido (VAL), também o TIR apresenta uma sensibilidade a alterações na margem de fibra, superior ao impacto causado pela variação do investimento. Contudo, quando analisada a mesma sensibilidade através da TIRM, o impacto é semelhante em ambas as situações, descrevendo um cenário mais próximo da realidade. Facto este explicado através do princípio segundo o qual foram concebidas as taxas internas de rentabilidade e de rentabilidade modificada, nos quais, ao igualar o valor de investimento aos ganhos do projeto, qualquer alteração numa das variáveis terá um impacto semelhante na taxa interna de rentabilidade.

Sendo, contudo, menos significativo, é importante referir que o impacto destas variações no prazo de recuperação de capital (PRC) ou “*payback*” (PB) de facto ocorre e, de forma inversa ao impacto nos restantes indicadores. Alterando-se a margem entre fibra “*gel-dyed*” e fibra em cru, o PRC diminui face à subida da margem bruta pois apresentamos um valor superior de recebimentos comparativamente às previsões iniciais (Figura 4.8), contudo aumentando o valor de investimento inicial, o prazo de recuperação de capital tende a aumentar, tal como é apresentado na Figura 4.9.

#### 4.2.2.Controlo de Custos

A decisão de investir e não perder capacidade de fibra tinta em relação a fibra crua é, portanto, positiva, iniciando-se o processo de preparação do projeto. Na fase de fornecimento de material e adjudicação dos trabalhos é efetuada a revisão das estimativas iniciais e confirmação de orçamentos dos materiais. Caso esta revisão não seja realizada com uma certa precisão, o valor de investimento base requerido pode não cobrir o global dos gastos necessários ou ser excessivo e inviabilizar o projeto.

No final desta fase prévia à construção do sistema, verifica-se o controlo de custos do projeto e, comparando com os valores estimados inicialmente para pedido de investimento, constata-se uma nova estimativa de cerca de 88,4% do investimento inicial.

#### 4.Apresentação e Discussão de Resultados

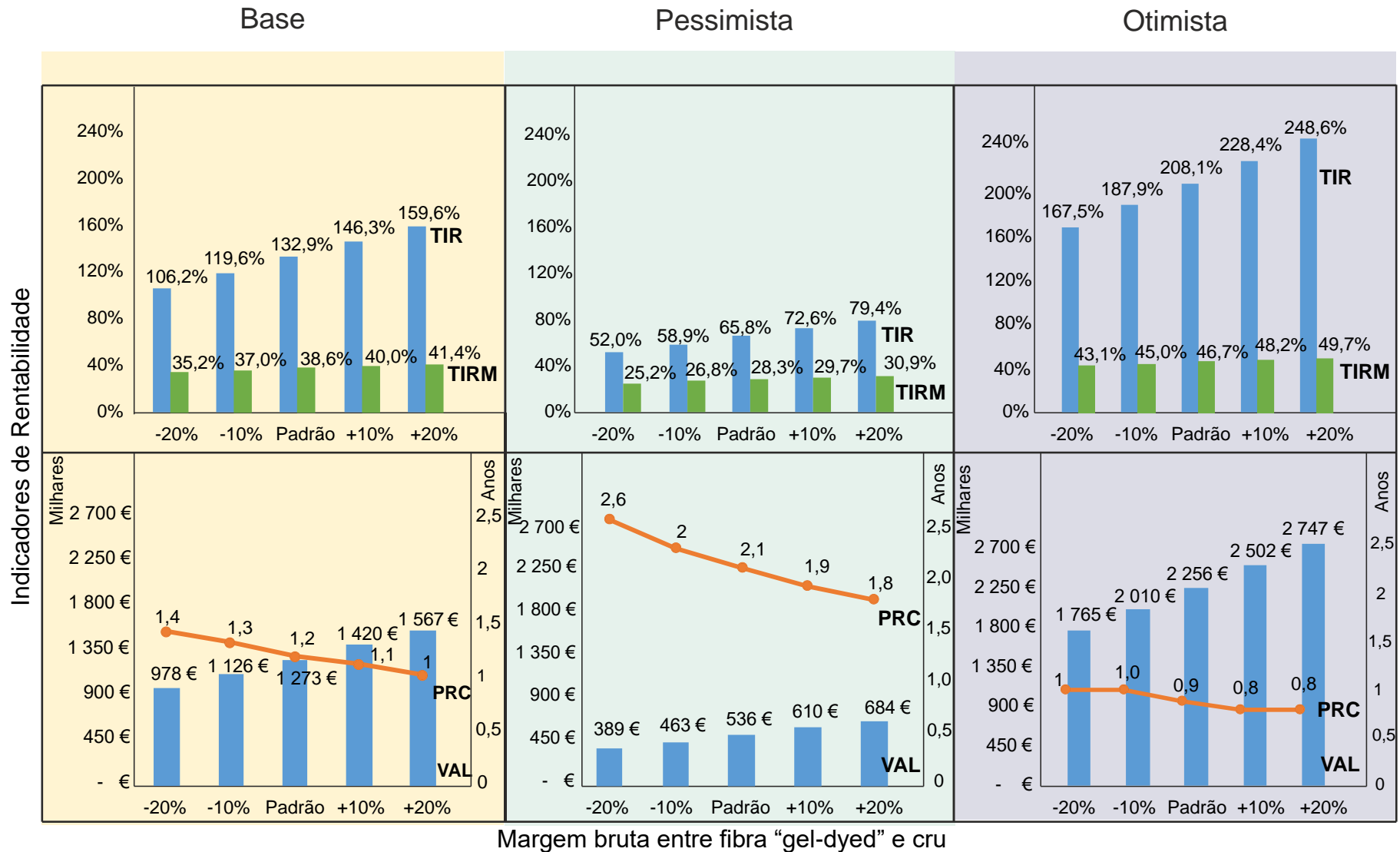


Figura 4.8-Análise de sensibilidade ao impacto nos diferentes cenários da margem bruta de fibra "gel-dyed"/cru, no TIR e TIRM (em cima) e no VAL e PRC (em baixo).

#### 4. Apresentação e Discussão de Resultados

No entanto, quando analisadas pormenorizadamente as discrepâncias entre as estimativas iniciais e o orçamento final para um determinado trabalho ou material, o desvio associado a estes valores em cada uma das áreas analisadas é significativo (Tabela 4.4). Esta situação advém das alterações efetuadas à engenharia básica e aos desenhos de montagem de estruturas ao longo da fase de decisão de investimento, que levaram à introdução e exclusão de alguns equipamentos e trabalhos a realizar, nomeadamente nas áreas de mecânica e instrumentação e elétrica.

*Tabela 4.4- Controlo de custos no decorrer da semana 36 do projeto.*

	Mecânica	Tubagens	Instrumentação
Média de discrepâncias nas estimativas	37%	41%	46%
Trabalhos/Materiais não contemplados do orçamento gasto	39%	42%	15%
Previsto ainda gastar na estimativa inicial	0%	25%	0%

Por observação da Figura 4.4, a desmontagem/montagem dos troços de tubagem contempla cerca de 42% do total estimado para pedido de investimento, pelo que desvios acentuados relativamente às estimativas iniciais são expectáveis e compreensíveis. Estimar trabalhos a realizar a nível de tubagens e o material necessário requer técnicas como listas de materiais (MTO's) baseadas em desenhos detalhados, as chamadas isométricas do projeto. Não existindo esses desenhos, a estimativa possível depende de técnicas fatoriais baseadas no conhecimento de estimativas anteriores para um mesmo âmbito [22]. No entanto, estes desenhos com alto nível de detalhe requerem como base os diagramas de processo que, não sendo realizados o mais previamente possível no desenvolvimento do projeto, não podem ser contemplados nas estimativas para pedido de investimento.

A média de desvio do valor estimado para o custo real de um determinado equipamento para efeitos de pedido de investimento ronda valores inferiores a 30%. Seria de prever que através das especificações obtidas no período de preparação do projeto, as percentagens erro dos valores seriam menores que as apresentadas. Contudo cada área engloba à estimativa de custo do equipamento, os trabalhos decorrentes da desmontagem/montagem dos mesmos, cuja estimativa pode unicamente ser baseada em dados prévios, implicando um aumento no desvio percentual entre os valores, ficando superiores aos 30% previstos. Face aos trabalhos/materiais não contemplados na estimativa inicial para pedido de investimento, é esperado um ligeiro acréscimo percentual do desvio entre os valores estimados e o custo real, até à conclusão do projeto.

#### 4. Apresentação e Discussão de Resultados

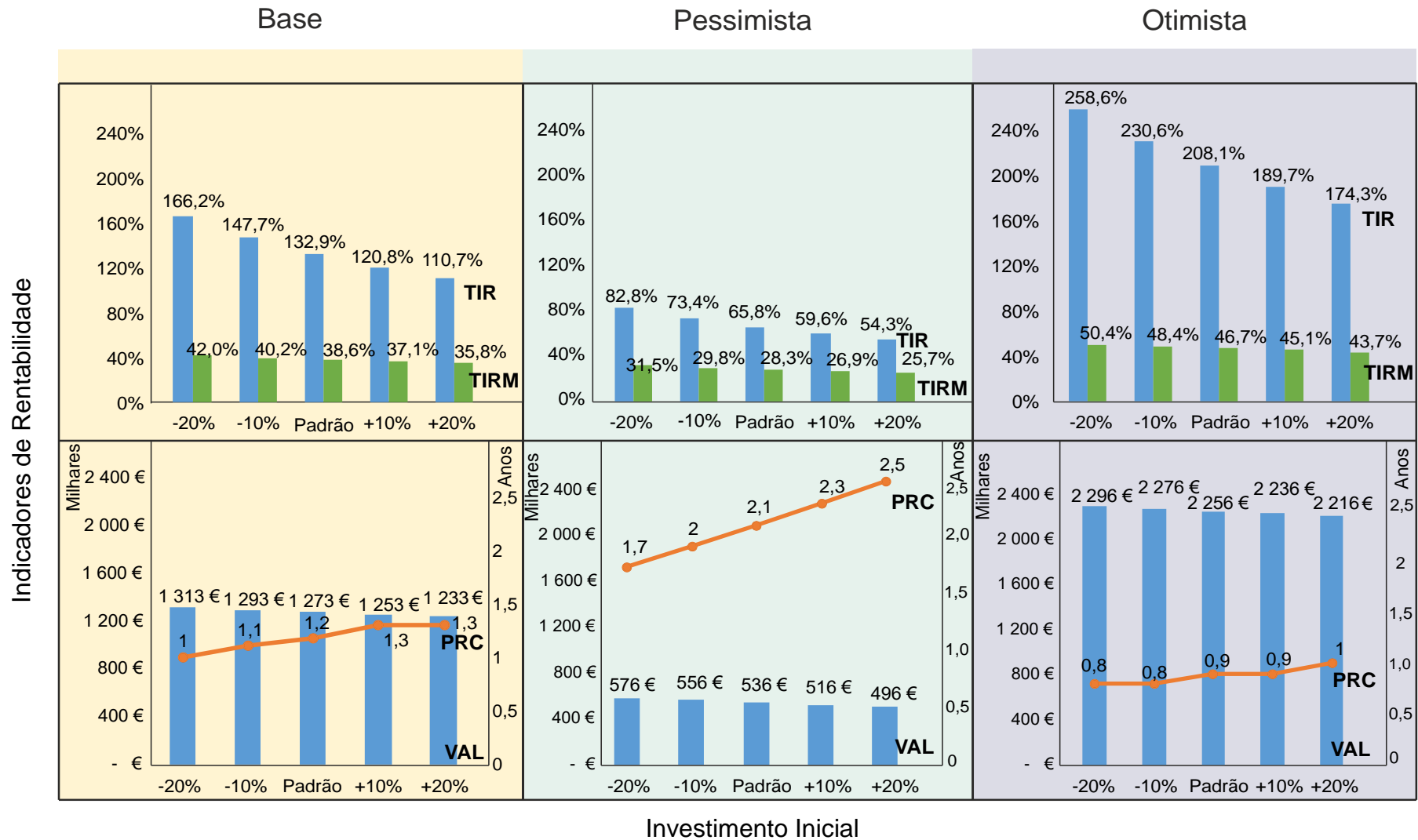


Figura 4.9- Análise de sensibilidade ao impacto nos diferentes cenários do investimento inicial, no TIR e TIRM (em cima) e no VAL e PRC (em baixo).

#### 4.Apresentação e Discussão de Resultados

Alterações no âmbito de um projeto são frequentes e imprevisíveis e, é por forma a compensar estes desvios aos valores estimados na fase de preparação, que é contemplada a existência de uma determinada percentagem de contingência num projeto de investimento.

#### 4.3. “Process and Instrumentation Diagram”

Através do âmbito do projeto, atualizou-se os diagramas referentes ao sistema de “Gel-Dyeing” das restantes máquinas e procedeu-se à criação de dois novos desenhos para a máquina número 2 (Tabela 4.5), contidos no Anexo IV – P&ID's.

Tabela 4.5- Desenhos realizados para a máquina 2.

Zona	Área Fabril	Desenho Nº
Alimentação de Corantes Máquina 2	"Spinning"	191079
Cuba TMD Máquina 2	"Spinning"	191080

#### 4.4. Propostas de Melhoria

Com o constante evoluir do mercado é significativo para uma empresa aumentar a sua competitividade financeira através não só da otimização dos seus processos, mas também da análise cuidada dos seus projetos de investimento.

Uma análise de potenciais falhas e riscos associados a um sistema de tingimento de fibra acrílica que possam influenciar a qualidade do produto final deve ser uma análise em constante atualização, resultado das diversas alterações efetuadas ao longo da fase de estudo do projeto. Das 41 falhas analisadas com número de priorização do risco superior ao valor estipulado pela empresa como sendo o patamar de risco para a qualidade do produto final, 10 permanecem numa zona de risco devido à ineficiência das ações de mitigação propostas. No decorrer das alterações realizadas ao projeto, atualizações periódicas da análise de risco, para identificação de novas propostas de ações de mitigação, seria o aconselhável no desenvolver de um projeto em estudo.

Um sistema em contínua otimização necessita de diagramas atualizados e em versão digital para rápido desenvolvimento de melhorias e alterações no processo. A uniformização do programa no qual se elaboram os diagramas para cada novo projeto na empresa é crucial para uma maior facilidade de criação de desenhos detalhados, como é o caso das isométricas de tubagens. Podendo ter acesso a este tipo de detalhe nos desenhos, numa fase prévia ao pedido de investimento, a discrepância

#### **4.Apresentação e Discussão de Resultados**

acentuada entre os valores estimados inicialmente e o valor orçamentado para fornecimento de material e mão-de-obra poderia sofrer um decréscimo significativo, levando a uma diminuição considerável no valor de investimento base.

A maior precisão conseguida nas estimativas realizadas aquando de um pedido de capital para um projeto de elevada importância para o objetivo de uma empresa, permite uma maior facilidade de gestão dos investimentos dessa empresa e um planeamento eficaz tanto do projeto em questão, como possíveis projetos futuros. Como referido anteriormente, o método mais fiável para estimar o custo de um determinado equipamento é através de estimativas fornecidas pelo fabricante ou fornecedor, próximas do orçamento real. Quanto mais díspar deste valor a estimativa se encontrar, mais elevada será a contingência designada ao projeto, por forma a contrabalançar os desvios calculados.

Uma decisão de investimento contemplando o global de alterações efetuadas ao longo do desenvolvimento do projeto seria o ideal, embora irrealista. Ao longo da sua elaboração, podem e devem ocorrer alterações ao âmbito inicialmente previsto, por forma a otimizar o processo e corrigir possíveis falhas na engenharia básica do mesmo. Contudo, o atrasar de um pedido de investimento resulta num inevitável prolongamento das fases temporais estabelecidas, podendo consequentemente originar um impacto financeiro para a empresa.

## 5. Conclusões e Propostas de Trabalho Futuro

### 5.1. Conclusões

Sendo a Fisipe uma empresa que tem vindo cada vez mais a apostar na produção de precursor de fibra de carbono (PFC), é importante que, do ponto de vista económico, permaneça competitiva no mercado de fibras acrílicas têxteis através da conversão de linhas de fibra acrílica em cru para linhas de produção de produtos com valor acrescentado, como é o caso da fibra acrílica “*gel-dyed*”.

Um novo projeto de investimento contribui para a dinamização tanto da produtividade como do produto em si e para a atividade económica da empresa. O desenvolvimento do novo projeto implica um complexo conjunto de fases com diversas ações subdivididas e estabelecidas cronologicamente para que evolua desde os estudos preliminares à sua efetiva conclusão. Um estágio que acompanha o início da fase de preparação até à construção permite não só o compreender a realidade da implementação de um projeto de engenharia, como a integração e realização de metodologias necessárias ao seu progresso.

Um estudo do risco executado nas etapas preliminares do projeto possibilita o reconhecimento de falhas no sistema de tingimento da fibra que, em certos casos, influenciam a qualidade do produto final. Analisaram-se 163 potenciais anomalias, sendo que a 41 foi designado número de priorização de risco elevado. A fim de minimizar o seu possível efeito na fibra para comercialização, são propostas ações de mitigação que envolvem a adição de sistemas de instrumentação automática, controladas pelos PLC existentes na fábrica, intervenções recorrentes de manutenção e um acréscimo nos registos de rotina realizados até atualmente. Após as três reuniões de realização da análise modal de falhas e efeitos (FMEA), dez das 41 potenciais falhas com número de priorização do risco elevado permanecem num patamar de risco elevado devido à ineficiência das ações de mitigação discutidas, pelo que se propôs uma atualização periódica do documento, por forma a discutir novas medidas de mitigação ou correção de falhas e a acompanhar as alterações decorrentes do desenvolvimento do projeto.

Por sua vez, após a estimativa inicial de custos associados às diferentes áreas de evolução do projeto, uma análise de viabilidade é necessária para que o capital requerido do projeto seja aprovado. Foram estudados três cenários distintos, nos quais se variou o perfil de vendas de fibra “*gel-dyed*” em relação à fibra em cru e a produção de fibra na máquina em questão. Através de indicadores de rentabilidade reconhecidos para a análise pretendida, é determinada a viabilidade do projeto, com uma taxa interna de rentabilidade modificada entre 28,3% e 46,7%, significativamente superior à taxa de desconto, um valor atualizado líquido entre 536 427€ e 2 255 925€, que potencia um enriquecimento para o investidor e um período de recuperação de capital inferior a cinco anos, com valores entre os 2 anos e 2 meses e, os 11 meses.

Para que fossem garantidas as condições de rendibilidade e a antecipação de possíveis incertezas dos pressupostos nos quais se baseiam a análise de viabilidade, foi realizada uma manipulação

## 5. Conclusões e Propostas de Trabalho Futuro

percentual de variáveis definidas do investimento (a margem bruta entre fibra “*gel-dyed*” e fibra em cru e o investimento inicial) e, analisado o seu impacto nos índices de rentabilidade. Deduz-se que o valor atualizado líquido apresenta uma maior sensibilidade (cerca de 20% superior) a alterações na margem bruta entre os tipos de fibra, quando comparado com o impacto causado pela variação do investimento inicial.

Apesar da variação, os indicadores mostram a viabilidade do projeto e o investimento é liberado. Contudo, um controlo de custos numa fase posterior à preparação do projeto demonstra as inconsistências e a variabilidade que pode ocorrer aquando da implementação de um projeto de engenharia, através do cálculo do desvio entre os valores estimados inicialmente e os orçamentados para determinado tipo de equipamento/trabalho e, de materiais não contemplados na estimativa inicial de preparação para um pedido de capital. Estas discrepâncias revelam-se após alterações ao âmbito previsto primeiramente no projeto e, apesar de inevitáveis e com propósito de otimizar o processo, possibilitam a sua inviabilidade. Como medida de atenuação das disparidades de valores, é incluída uma certa contingência para o projeto, no pedido inicial de investimento.

Para que determinadas alterações sejam previstas e mitigadas, existem metodologias viáveis para estimar os custos de um projeto, sendo assim proposto como medida de melhoria, um pedido de investimento com base num maior número de estimativas fornecidas pelo fabricante ou fornecedor, próximas do orçamento real para um qualquer equipamento ou trabalho a desempenhar.

Como base para uma estimativa precisa de trabalhos de desmontagem/montagem de tubagens, é necessária a realização de diagramas de processo previamente ao decorrer de um pedido de capital, pelo que é aqui proposto uma atualização constante dos diagramas existentes na fábrica bem como a sua uniformização, para rápido desenvolvimento de melhorias e alterações nas áreas processuais. No entanto, através da criação dos diagramas de processo aqui dispostos, a Fisipe dispôs de uma atualização dos P&ID's para o sistema de “*gel-dyeing*”. Conceberam-se dois desenhos respeitantes à alimentação de corantes à máquina 2 e ao sistema de tingimento na cuba, seguindo determinadas normas designadas pela empresa.

### 5.2. Propostas de Trabalho Futuro

A integração deste estágio no desenvolvimento de um projeto de engenharia permita demonstrar as potenciais imprevisibilidades no decorrer do mesmo, pelo que são aqui propostas medidas de contínua melhoria para a otimização dos processos da empresa e a atenuação do seu impacto financeiro, de entre as quais:

- I. Atualização periódica de análises de falha, por forma a englobar alterações efetuadas no decorrer do projeto e discutir novas e mais eficazes ações de melhoria;



### **5. Conclusões e Propostas de Trabalho Futuro**

- II. Realização, em formato digital e uniformizado, dos diagramas de processo para os restantes sistemas processuais da fábrica;
  - i. Incluir nomenclatura de cada tubagem/equipamento/instrumento, a fim de facilitar a identificação do elemento onde se encontra a potencial anomalia;
  - ii. Padronização do sistema de “*gel-dyeing*”, tendo como base a máquina 2 desenvolvida neste projeto.
- III. Estimar, com uma maior percentagem de valores orçamentados, o investimento necessário para o desenvolvimento de um projeto;
- IV. Replicar para as restantes máquinas de “*gel-dyeing*” as alterações processuais que decorrem do projeto de instalação da máquina 2.

## Referências Bibliográficas

- [1] J. E. McIntyre, *Synthetic fibres: nylon, polyester, acrylic, polyolefin*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2005.
- [2] M. Clark, *Handbook of Textile and Industrial Dyeing Vol.1: Principles, processes and types of dyes*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2011.
- [3] Envision Intelligence, "Acrylic Fiber Market - share, Outlook, Trends, Size and Forecasts (2018 - 2024)" 2018. [Online]. Disponível em: <https://www.envisionintelligence.com/industry-report/acrylic-fiber-market/>. [Acedido: 08-Setembro-2018].
- [4] Fisipe S.A., "Manual de Acolhimento" Documento Interno, 2018.
- [5] Fórum de Administradores e Gestores de Empresas, "FISIPE - Um MBO de alto risco" 2017. [Online]. Disponível em: [http://faeonline.pt/wp-content/uploads/2017/01/caso\\_estudo\\_fae\\_2014\\_fisipe.pdf](http://faeonline.pt/wp-content/uploads/2017/01/caso_estudo_fae_2014_fisipe.pdf). [Acedido: 10-Setembro-2018].
- [6] Nippon Nozzle, "Spinnerets for Wet Spinning." [Online]. Disponível em: <http://www.nippon-nz.com/en/product01.html>. [Acedido: 10-Setembro-2018].
- [7] J. C. Masson, *Acrylic Technology And Applications*. Nova Iorque: Marcel Dekker, Inc., 1995.
- [8] A. D. Broadbent, *Basic Principles of Textile Coloration*. West Yorkshire: Society of Dyers and Colourists, 2001.
- [9] V. Ramachandran, A. C. Raghuram, R. V Krishnan, and S. K. Bhaumik, *Failure Analysis of Engineering Structures - Methodology and Case Histories*. Ohio: ASM International, 2005.
- [10] B. Tyler and F. Crawley, *HAZOP: Guide to Best Practice - Guidelines to Best Practice for the Process and Chemical Industries*, 3rd ed. Oxford: Elsevier Ltd., 2015.
- [11] ISA Publications, "The FMEA method - A powerful reliability tool for data analysis that lasts for decades" *InTech Magazine*, 2012. [Online]. Disponível em: [https://www.isa.org/standards-and-publications/isa-publications/intech-magazine/2012/april/cover-story-the-fmea-method\(1\)](https://www.isa.org/standards-and-publications/isa-publications/intech-magazine/2012/april/cover-story-the-fmea-method(1)). [Acedido: 22-Abril-2018].
- [12] C. S. Carlson, *Effective FMEAs - Achieving Safe, Reliable, and Economical Products and Processes Using Failure Mode and Effects Analysis*. Nova Jérícia: John Wiley & Sons, Inc., 2012.
- [13] D. H. Stamatis, *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from theory to execution*, 2nd ed. Milwaukee: ASQ Quality Press, 2003.
- [14] Fisipe S.A., "Acção de Formação - FMEA, um instrumento de Gestão do Risco" Documento Interno.
- [15] R. Nieweglowski, E. P. de Lima, and S. E. G. da Costa, "Desenvolvendo um processo de análise de investimentos baseado em competências" *Gestão & Produção*, vol. 17, 2010.
- [16] A. Marques, *Conceção e Análise de Projetos de Investimento*, 4th ed. Lisboa: Edições Sílabo, 2014.
- [17] M. D. S. Lopes, *Elaboração e Análise de Projetos de Investimento*, 2nd ed. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2012.
- [18] E. A. Helfert, *Financial Analysis: Tools and Techniques - A Guide for Managers*. Estados Unidos da América: The McGraw-Hill Companies, 2001.
- [19] A. Cebola, *Projetos de Investimento de PME*, 2nd ed. Lisboa: Edições Sílabo, 2011.
- [20] D. T. Larrabee and J. A. Voss, *Valuation techniques. Discounted Cash Flow, Earnings Quality, Measures of Value Added, and Real Options*. Nova Jérícia: John Wiley & Sons, Inc., 2013.

- [21] I. Soares, J. Moreira, C. Pinho, and J. Couto, *Decisões de Investimento–Análise Financeira de Projetos*, 4th ed. Lisboa: Edições Sílabo, 2015.
- [22] K. D. Timmerhaus and M. S. Peters, *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*, 4th ed. Singapore: The McGraw-Hill Companies, 1991.
- [23] M. . Akalu, “Re-examining project appraisal and control: developing a focus on wealth creation” *Int. J. Proj. Manag.*, vol. 19, 2001.
- [24] J. M. Coulson and J. F. Richardson, *Chemical Engineering Design*, 4th ed., vol. 6. Oxford: R.K.Sinnott, 2005.
- [25] C. Álvares, António Carlos Teixeira ; Machline and J. C. Barbieri, “Taxa Interna de Retorno: controvérsias e interpretações” *GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sist.*, vol. 2, pp. 131–142, 2007.
- [26] API Empreendedores, “Mestrado em Administração de Empresas - Análise de Projectos de Investimento” 2007. [Online]. Disponível em: <https://mbaiscee.files.wordpress.com/2008/05/apiempreendedores2007.pdf>. [Acedido: 24-Agosto-2018].
- [27] E. E. Ludwig, *Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants*, 3rd ed., vol. 1. Massachusetts: Butterworth-Heinemann, 1999.
- [28] Tameson, “Ball Valves” 2018. [Online]. Disponível em: <https://tameson.co.uk/ball-valve-introduction.html>. [Acedido: 20-Agosto-2018].
- [29] L. F. Albright, *Albright’S Chemical Engineering Handbook*. Boca Raton: CRC Press, 2009.
- [30] P. V. Correa, “Fundamentos de Instrumentação e Controle,” Universidade Federal do Amazonas, 2002.
- [31] Emerson, “About Differential Pressure (DP) Level Measurement” *Pressure Measurement*. [Online]. Disponível em: <https://www.emerson.com/en-us/automation/measurement-instrumentation/pressure-measurement/about-differential-pressure-dp-level-measurement>. [Acedido: 13-Setembro-2018].
- [32] J. P. B. Mota, “Apontamentos de Instrumentação e Controlo de Processos” Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2016.
- [33] I. J. Karassik, J. P. Messina, P. Cooper, and C. C. Heald, *Pump Handbook*, 3rd ed. Estados Unidos da América: The McGraw-Hill Companies, 2001.
- [34] P. E. Chuck Treutel, “Peristaltic Pumps : A Simple Solution for Abrasive and Corrosive Chemicals” [Online]. Disponível em: [https://www.chemicalprocessing.com/assets/wp\\_downloads/pdf/Watson\\_Marlow\\_090507.pdf](https://www.chemicalprocessing.com/assets/wp_downloads/pdf/Watson_Marlow_090507.pdf). [Acedido: 16-Junho-2018].
- [35] Dennis P. Nolan, *Application of HAZOP and What-If Safety Reviews to the Petroleum , Petrochemical and Chemical Industries*. Nova Jérícia: Noyes Publications, 1994.
- [36] J. M. Reis, “Projeto II - Estimativa do Investimento e Avaliação Económico-Financeira do Projecto de uma nova fábrica” Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2017.
- [37] M. H. Evans, “Excellence in Financial Management Course 3: Capital Budgeting Analysis” 2000. [Online]. Disponível em: <http://www.exinfm.com/training/pdfiles/course03.pdf>. [Acedido: 23-Agosto-2018].
- [38] A. for Management, “Payback Method” *Capital budgeting techniques (explanations)*. [Online]. Disponível em: <https://www.accountingformanagement.org/payback-method/>. [Acedido: 05-Maio-2018].
- [39] WR Prates, “O que é TIRM (Taxa Interna de Retorno Modificada) ?” 2017. [Online]. Disponível em: <https://www.wrprates.com/o-que-e-tirm-taxa-interna-de-retorno-modificada/>. [Acedido: 17-Julho-2018].

- [40] Fisipe S.A., “Engenharia Básica - Implementação do Sistema de ‘Gel-Dyeing’ na SPM2,” Documento Interno, 2018.
- [41] Fisipe S.A., “Novo design do distribuidor de líquidos da cuba TMD” Documento Interno, 2017.
- [42] H. C. Thorne and J. A. Piekarski, *Techniques for Capital Expenditure Analysis*, 1st ed. Nova Iorque: Marcel Dekker, Inc., 1995.

# Anexos

## Anexo I – Caracterização dos índices da análise FMEA em vigor na Fisipe

Neste anexo são apresentadas as tabelas utilizadas como base para a análise de risco realizada ao projeto, através do índice de gravidade (Tabela I.1), de ocorrência (Tabela I.2) e de não detecção (Tabela I.3), caracterizadas numa escala de 1 a 10.

**Tabela I.1 - Índice de Gravidade**

Descrição	Gravidade é	Índice Gravidade
A falha pode provocar lesões ou afeções da saúde no cliente ou no colaborador	Alarmantemente elevada	10
A falha pode conduzir à violação de um requisito legal ou regulamentar	Extremamente alta	9
A falha pode causar a inoperação total do produto, processo ou realização do serviço	Muito alta	8
A falha pode conduzir a uma insatisfação significativa por parte do cliente	Alta	7
A falha pode provocar uma inoperação temporária ou parcial do produto, processo, ou realização do serviço	Moderada	6
A falha pode levar a que o cliente formalize uma reclamação	Baixa	5
A falha pode conduzir à diminuição do desempenho esperado do produto, processo ou realização do serviço	Muito baixa	4
A falha pode provocar uma ligeira perturbação na operação do produto, processo ou realização do serviço, mas o nível de desempenho não é posto em causa	Menor	3
A falha pode causar efeitos indesejáveis tão pouco significativos que não suscitam insatisfação	Muito pouco significativa	2
A falha pode acontecer, mas a mesma não será notada	Nenhuma	1

**Tabela I.2 - Índice de Ocorrência**

Descrição	A probabilidade de ocorrer é	Índice Ocorrência
A falha é praticamente inevitável e muito frequente, ocorrendo diariamente ou acontece mais de 3 vezes em cada 10 eventos ( $C_{pk} < 0,33$ )	Extremamente elevada	10
A falha ocorre com uma periodicidade de três ou quatro dias ou acontece em cerca de 3 vezes em cada 10 eventos ( $C_{pk} \approx 0,33$ )	Muito alta	9
A falha é frequente, ocorrendo semanalmente ou acontecendo cerca de 5 vezes em cada 100 eventos ( $C_{pk} \approx 0,67$ )	Alta	8
A falha ocorre mensalmente ou acontece 1 vez em cada 100 eventos ( $C_{pk} \approx 0,83$ )	Relativamente alta	7
A falha não é frequente, ocorrendo uma vez todos os três meses ou acontecendo 3 vezes em cada 1000 eventos ( $C_{pk} \approx 1,00$ )	Moderada	6
A falha ocorre uma vez em cada seis meses a um ano ou acontece pelo menos 5 vezes em cada 10 000 eventos ( $C_{pk} \approx 1,17$ )	Relativamente baixa	5
A falha ocorre uma vez por ano ou acontece 6 vezes em cada 100 000 eventos ( $C_{pk} \approx 1,33$ )	Baixa	4
A falha ocorre com uma periodicidade entre um a três anos ou acontece 6 vezes em cada 10 milhões de eventos ( $C_{pk} \approx 1,67$ )	Muito baixa	3
A falha ocorre com uma periodicidade entre três a cinco anos ou acontece 2 vezes em cada 1 bilhão de eventos ( $C_{pk} \approx 2,00$ )	Relativamente remota	2
A falha ocorre com intervalos de tempo superiores a cinco anos ou acontece menos de 2 vezes em cada 1 bilhão de eventos ( $C_{pk} > 2,00$ )	Remota	1

**Tabela I.3 - Índice de Não Detecção**

Descrição	A probabilidade de não detetar é	Índice Não Detecção
Não existem procedimentos de verificação, ou então a falha ou erro (causa) não é detetável	Praticamente certa	10
O controlo é manual e feito por amostragem, mas não existe um plano de inspeção formal	Muito elevada	9
O controlo é manual feito por amostragem, havendo um plano de inspeção formal	Elevada	8
O controlo é feito manualmente por inspeção a 100%	Relativamente elevada	7
O controlo utiliza dispositivos “ <i>poka-yoke</i> ” ou equipamentos de monitorização e medição.	Moderada	6
O controlo é feito por inspeção “ <i>offline</i> ” e são utilizadas técnicas de controlo estatístico da qualidade (e.g. SPC)	Relativamente baixa	5
É usado controlo estatístico da qualidade (e.g. SPC) e existe um plano de reação a causas especiais de variação	Baixa	4
O controlo recorre a “ <i>software</i> ” de controlo estatístico da qualidade (e.g. SPC) e os índices de capacidade são superiores a 1,33	Muito baixa	3
O controlo é feito a 100%, de forma automática	Relativamente remota	2
O controlo é feito a 100%, de forma automática, havendo calibração periódica dos instrumentos e manutenção preventiva	Remota	1

## Anexo II – Análise FMEA

Este anexo contém a análise de risco ao projeto de implementação do novo sistema, onde foram detetadas 163 potenciais anomalias e, elaborado um plano de ações de mitigação referentes às mesmas.

*Este anexo foi removido por motivos de confidencialidade.*

Anexo III – Legenda P&ID segundo normas Fisipe

### Valves

- General Valve
- Ball Valve
- Gate Valve
- Butterfly Valve
- Globe Valve
- Needle Valve
- Three Way Valve - T/L Plug
- Four Way Valve - T/L/LL/I Plug
- Check Valve
- Swing Check Valve
- Diaphragm Valve

### Instrument

- Breather Valve
- Relief Valve
- Angle Relief Valve
- Pressure Rupture Disc
- Vacuum Rupture Disc
- Pressure/Vacuum Rupture Disc
- On/Off Valve
- Control Valve - Diaphragm Actuator
- Control Valve - Solenoid Actuator
- Control Valve - Piston Actuator
- Self Actuated Control Valve
- Driftice
- Analysis Instrument

### Piping

- Static Mixer
- Y-Strainer
- Concentric Reducer
- Eccentric Reducer
- Silencer
- Hose
- Hose Connection
- Flanged Connection
- General Vent
- Goose Neck Vent
- Funnel
- Crossing Pipe
- Gap
- Steam Injector
- Steam Trap
- Sight Glass
- Flare Arrestor Inline
- Flare Arrestor End of Line
- Siphon
- Clamp
- Adal Expansion Joint

### Pumps

- General Pump
- Centrifugal Pump
- Diaphragm Pump
- Gear Pump
- Piston Pump

### Equipment

- General Vessel
- General Tank
- General Column
- Portable Tank
- Silo
- Radial Agitator
- Adal Agitator
- Strainer
- Liquids Cartridge Filter
- Gases Cartridge Filter
- General Air Filter
- HEPA Air Filter
- Cyclone Separator

### Flow Meters

- Vortex Flow Meter
- Coriolis Flow Meter
- Local
- Control System
- PLC

### Other Equipment

- Peristaltic Pump
- Jet Vacuum Pump
- Liquid Ring Vacuum Pump
- Trochoid Pump
- Scrubber
- Decanter
- Oil Decanter
- Tubular Heat Exchanger
- Plate Heat Exchanger
- U-Tube Heat Exchanger
- Hydraulic Cylinder
- Pneumatic Cylinder
- Motor
- VSD
- Hammer Mill
- Ball Mill
- Colloid Mill
- General Compressor
- General Blower
- Rotary Valve
- Screw Conveyor
- Roll Stand
- Stack
- Filter Press
- Bucket Elevator

### Instrument Identification Letters

	First Letter		Succeeding Letters		
	Measured or Initiating Variable	Modifier	Readout or Passive Function	Output Function	Modifier
A	Analysis	-	Alarm	-	-
C	-	-	-	Control	-
D	-	Differential	-	-	-
E	-	-	Element	-	-
F	Flow Rate	Ratio	-	-	-
H	Hand	-	-	-	High
I	Current (Electrical)	-	Indicator	-	-
L	Level	-	Light	-	Low
M	Moisture	-	-	-	-
Q	On/Off	Solenoid	-	-	-
P	Pressure, Vacuum	-	Point (test) Connection	-	-
R	-	-	Record	-	-
S	Speed	Safety	-	Switch	-
T	Temperature	-	-	Transmit	-
V	Vibration	-	-	Valve	-
X	Interruption	-	-	Calculation Block	-
W	Weight	-	Well	-	-

### Line Identification

3"-SSCR-1702-SS1(A) B

- Diameter
- Fluid Number
- Material
- Insulation

### Equipment Identification

EP-SP-101-A1

- Equipment Area
- Number
- Index for Parallel
- Index for Serial

### Instrument Identification

SP-PRC-132A1

- Area
- Variable and Type
- Number
- Index for Parallel
- Index for Serial

### Continuation Flag

DOPE TO/FROM XX 1/780043

- Fluid
- Source/Destination
- Drawing Number

### Tie-In Identification

031 TP-CP

- Tie-In Number
- Area

Rev.	Data	Descrição	Des.	Verif.	Aprov.
Rev.					
Des.	CM	2016.10.17			
Verif.	PR	2016.10.20			
Aprov.	PR	2016.10.20			

## STANDARD LEGEND PID'S

**FISIPE**  
YOUR CREATIVE PARTNER  
IN ACRYLIC FIBERS

DESENHO N°

1/190952

Autocad ☒ / ARQUIVO

Este desenho é propriedade da FISIPE, S.A. e não pode ser utilizado, reproduzido, no todo ou em parte, ou comunicado a terceiros sem a sua autorização expressa.



## Anexo IV – P&ID's

Neste anexo encontram-se os diagramas de processo inerentes aos desenhos N°191079 referente à alimentação de corantes à cuba de tingimento e N°191080, no qual é especificamente retratada a cuba de tingimento e o sistema de recirculação.

*Este anexo foi removido por motivos de confidencialidade.*